

MESTRADO EM SIG E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Aplicação da análise multicritério para a
definição de áreas de risco de
transmissão de malária na província de
Luanda, Angola
Josemar Ferreira de Oliveira da Silva

M

2017



Josemar Ferreira de Oliveira da Silva

**Aplicação da análise multicritério para a definição de áreas de
risco de transmissão de malária na província de Luanda, Angola**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Alberto Gomes
e coorientada pela Professora Doutora Ana Teodoro

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Novembro de 2017

Aplicação da análise multicritério para a definição de áreas de
risco de transmissão de malária na província de Luanda,
Angola

Josemar Ferreira de Oliveira da Silva

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Alberto Gomes
e coorientada pela Professora Doutora Ana Teodoro

Membros do Júri

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professora Doutora Lia Bárbara Cunha Barata Duarte
Faculdade de Ciências - Universidade do Porto

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Classificação obtida: 15 valores

À minha família pelo o apoio incondicional

Sumário

| | |
|--|----|
| Agradecimentos..... | 9 |
| Resumo..... | 10 |
| Abstract | 12 |
| Índice de figuras | 14 |
| Índice de tabelas | 16 |
| Lista de abreviaturas e siglas..... | 17 |
| Introdução | 19 |
| Estrutura da tese | 20 |
| Capítulo 1. - Malária | 21 |
| 1.1. Aspetos gerais da doença | 21 |
| 1.2. Distribuição global da malária | 21 |
| 1.3. Malária em Angola..... | 22 |
| 1.4. O vetor..... | 23 |
| 1.5. Transmissão da doença pelo vetor | 24 |
| 1.6. Ciclo de vida do parasita | 25 |
| 1.7. Sintomas e sinais | 27 |
| 1.8. Medidas preventivas da doença..... | 28 |
| 1.9. Tratamento da doença | 29 |
| 1.10. Controlo da malária..... | 31 |
| Capítulo 2. – Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da Detecção Remota (DR) na área de saúde | 33 |
| 2.1. Sistema de informação Geográfica (SIG) | 33 |
| 2.2. Arquitetura do software SIG | 34 |
| 2.2.1. Componentes de um SIG..... | 35 |
| 2.2.2. Modelos de dados em SIG | 36 |
| 2.2.3. Funcionalidade e potencialidade de um SIG | 37 |
| 2.3. Detecção Remota (DR) | 38 |
| 2.4. O uso de imagens de satélite em saúde | 40 |
| 2.5. A utilidade dos SIG aliados à DR na área da saúde | 42 |
| 2.6. Metodologias SIG e DR aplicadas ao estudo da malária | 45 |
| Capítulo 3. - Materiais e Métodos | 47 |
| 3.1. Caracterização da área de estudo | 47 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1. Clima | 48 |
| 3.1.2. Vegetação e flora..... | 49 |
| 3.2. Dados utilizados | 50 |
| 3.4. Classificação de imagem..... | 57 |
| 3.5. Definição das áreas de risco de transmissão de malária..... | 61 |
| Capítulo 4. - Resultados e discussão | 65 |
| 4.1. Resultados | 65 |
| 4.2. Limitações do estudo..... | 76 |
| Conclusão | 77 |
| Referências bibliográficas | 79 |
| Anexos..... | 86 |
| Anexo 1 | 87 |
| Anexo 2..... | 90 |
| Anexo 3..... | 92 |

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Doutor Alberto Gomes pela competência e simplicidade e segurança com que orientou esta dissertação e tempo que generosamente dedicou-se transmitindo os melhores ensinamentos, com paciência, transparência e toda confiança demonstrada.

À minha co-orientadora Professora Doutora Ana Teodoro, pela disponibilidade e auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

À Clínica Sagrada Esperança, na pessoa da Dr^a Goureth Amaral e do Dr. Roigue pela informação cedida dos casos notificados por malária.

Ao meu colega Diogo pela sua pronta disponibilidade, e sugestões por alguns aspetos práticos.

Aos meus amigos Adriano, Michel e o Pombal pelo apoio e sugestões prestado e pelas conversas que mantivemos durante a realização deste trabalho.

Aos meus irmãos e a minha mãe pelo o apoio incondicional, compreensão nos momentos mais difíceis, e a sua total atenção.

À minha irmã Emília e ao marido Henrique, pelo apoio para o término do referido trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram para que realização deste trabalho fosse possível.

Resumo

A malária é uma doença que afeta um número crescente de seres humanos, provocando a morte de milhares de pessoas todos os anos em todo mundo. À escala global foi identificada como sendo a doença com maior possibilidade de ser influenciada pelas alterações climáticas. Deste modo torna-se necessária a previsão dos potenciais impactes das alterações climáticas na saúde e definição de áreas mais suscetíveis à disseminação da doença.

Para este trabalho utilizou-se um conjunto de dados ambientais, obtidos por satélites de observação da Terra. A temperatura obteve-se pelo produto MOD11 do sensor *MODIS*, o uso do solo, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo (NIR) e no vermelho (RED) e pela soma dessas mesmas refletividades, e o índice de água por diferença normalizada (NDWI) mede o teor de humidade na vegetação e é calculado através da refletância do infravermelho próximo (NIR) e o comprimento de onda verde (GREEN) foram obtidos através das imagens dos satélites *Sentinel 2* e *Landsat 8*, a altitude foi obtida através dos dados shuttle radar topography mission (SRTM) é atualmente o mais completo conjunto de dados de elevação, abrangendo uma cobertura de 80% da superfície da Terra, o índice topográfico de humidade (TWI) que foi calculado em função do declive e da quantidade de água a montante a partir dos dados da missão SRTM, e a precipitação, esta obtida através dos dados existentes no projeto *WorldClim*.

Pretendeu-se, fundamentalmente, através de um modelo preditivo destacar a importância das técnicas de geoprocessamento como forma de estimar áreas de potencial risco de transmissão de malária através do uso de imagens e produtos derivados de imagens de satélite, as quais permitem a aquisição de dados sobre a superfície terrestre por meio de sensores instalados em satélites de observação da Terra.

A modelação efetuada baseou-se na criação de um modelo preditivo para a transmissão da malária em que se usaram dois métodos: (i) o de análise hierárquica de processos para atribuição de pesos, os quais foram determinados por uma matriz de comparação par a par; (ii) e o método de análise multicritério, pela combinação linear

ponderada para o cruzamento das diferentes variáveis ambientais.

Os resultados mostram que em termos de área, os lugares classificados como de baixo risco abrangeram 28,06% da área total, com risco moderado 46,27% e com risco elevado 25,67% da área total da província de Luanda.

Pelos resultados da modelação observa-se que as zonas de maior risco de transmissão estão ligadas a áreas de rápido crescimento demográfico associado à intensa e desordenada urbanização, à inadequada infraestrutura urbana, à debilidade dos serviços e campanhas de saúde pública, bem como à pouca preparação dos agentes de saúde e da população. Além disso, o saneamento básico, a recolha de lixo, mostram-se insuficientes ou inadequados nas periferias. Dessa maneira, o aumento do número de criadouros potenciais do principal mosquito vetor da malária é favorecido.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são cada vez mais utilizados na área da saúde, uma vez que otimizam a análise da situação de saúde das condições de vida da população e das condições ambientais, possibilitando o relacionamento de informações com diferentes origens e formatos.

Palavras-chaves: Detecção Remota, Malária, Imagens de Satélite, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Risco, Saúde Pública

Abstract

Malaria is a disease that affects an increasing number of people, causing the death of thousands of people each year worldwide. Overall, it has been identified as the disease most likely to be influenced by climate change. In this way, it is necessary to predict the potential impacts of climate change on health and to define the areas most sensitive to the spread of the disease.

For this work was used a set of environmental data, obtained by Earth observation satellites. The temperature was obtained by the MOD11 product of the MODIS sensor, the land use, the normalized difference vegetation index (NDVI) is the ratio between the difference of the reflectivities of the bands in the near infrared (NIR) and in the red by the sum of these same reflectivities, and the normalized water index (NDWI) measures the moisture content of vegetation and is calculated using NIR (near infrared reflectance) and length. of the Sentinel 2 and Landsat 8 green, the altitude obtained from the SRTM data is currently the most complete altitude dataset, covering 80% of the Earth's surface; topographic wetness index (TWI), which was calculated based on the slope and amount of water upstream of the SRTM mission data, and precipitation was obtained from WorldClim project data.

It was fundamentally predicted, through a predictive model, to emphasize the importance of geoprocessing techniques as a means of estimating areas of potential risk of malaria transmission through the use of satellite images and derived products, allowing the acquisition of data on the surface of the Earth by means of sensors installed on satellites of observation of the Earth.

The modeling was based on the creation of a predictive model of malaria transmission in which two methods were used: (i) hierarchical analysis of weight assignment processes, which were determined by a comparison matrix by pair; (ii) and the multicriteria analysis method, using the weighted linear combination to cross the different environmental variables.

The results show that in terms of area, low-risk sites covered 28.06% of the total area, with a moderate risk of 46.27% and a high risk of 25.67% of the total area of the site. province of Luanda.

Modeling results show that areas of higher risk of transmission are linked to areas of rapid population growth associated with intense and disorderly urbanization, inadequate urban infrastructure, weak public health services and campaigns, and poor preparation health workers and the population. In addition, basic sanitation, waste collection, are inadequate or inadequate in the peripheries. In this way, the increase in the number of potential breeding sites of the main mosquito vector of malaria is favored.

Geographic information systems (GIS) are increasingly used in the health field, since they optimize the analysis of the health situation of the living conditions of the population and environmental conditions, allowing the relationship of information with different origins and formats.

Keywords: Remote Sensing, Malaria, Satellite imagery, Geographic Information Systems (GIS), Risk, Public health.

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Distribuição global da malária (WHO, 2016). | 21 |
| Figura 1.2 – Malária em Angola (Ministério da Saúde, 2011). | 22 |
| Figura 1.3 – Ciclo de transmissão do vetor (www.tuasaude.com/malaria/). | 25 |
| Figura 1.4 – Ciclo de vida do parasita (Gomes, 2010). | 27 |
| | |
| Figura 2.1 – Estrutura interna de um SIG (Câmara & Ortiz, 1998). | 35 |
| Figura 2.2 – Componentes de um SIG (Kerski, 2011). | 36 |
| Figura 2.3 – Dados vetoriais (Cunha, 2011). | 36 |
| Figura 2.4 – Dados vetoriais e raster (Cunha, 2011). | 37 |
| Figura 2.5 – Geografia, Informação e Sociedade (Julião, 1999). | 38 |
| Figura 2.6 – Etapas da Detecção Remota. | 39 |
| Figura 2.7 – Epidemia de cólera num bairro de Londres (Gomes, 2010). | 43 |
| | |
| Figura 3.1 – Localização da área de estudo. | 47 |
| Figura 3.2 – Gráfico pluviométrico de Luanda (https://pt.climate-data.org/). | 48 |
| Figura 3.3 – Parque Nacional da Quiçama (Google Earth). | 49 |
| Figura 3.4 – Comparação da cobertura de bandas do Landsat 7 e 8 e comprimento de onda das respectivas bandas (USGS, 2013). | 51 |
| Figura 3.5 – Características de bandas espectrais do satélite Sentinel-2 (Fletcher, 2012). | 52 |
| Figura 3.6 – processo de aquisição dos dados SRTM (Sampaio, 2012). | 56 |
| Figura 3.7 – Fluxograma da classificação supervisionada. | 58 |
| Figura 3.8 – Modelo de cálculo do índice topográfico de humidade (TWI). | 59 |
| Figura 3.9 – Fluxograma da metodologia aplicada neste estudo. | 64 |
| | |
| Figura 4.1 – Mapa da variável temperatura usado no modelo preditivo. | 66 |
| Figura 4.2 – Mapa da variável de precipitação usado no modelo preditivo. | 67 |
| Figura 4.3 – Mapa da variável de NDWI usado no modelo preditivo. | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.4 – Mapa da variável de NDVI usado no modelo preditivo. | 69 |
| Figura 4.5 – Mapa da variável de índice composto topográfico usado no modelo preditivo. | 70 |
| Figura 4.6 – Mapa da variável da altitude e hidrografia usado no modelo preditivo..... | 71 |
| Figura 4.7 – Mapa da variável do uso do solo usado no modelo preditivo. | 72 |
| Figura 4.8 – Modelo preditivo de risco de malária..... | 74 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1 – Condições favoráveis e desfavoráveis à picada dos mosquitos em humanos e transmissão de malária..... | 29 |
| Tabela 2.1 – Lista de satélites atualmente disponíveis ou disponíveis no futuro próximo para monitorar os componentes da malária. PAN = panchromatic, VNIR= visível/infravermelho-próximo, SWIR = infravermelho médio, TIR= infravermelho térmico, SAR = radar de abertura sintética LST = temperatura da superfície terrestre. Satélite que tem sido utilizado para estudos de malária são destacados (Ceccato, Connor, Jeanne, & Thomson, 2005)..... | 42 |
| Tabela 2.2 – Resumo das publicações sobre o estudo da malária aplicando SIG e DR. | 46 |
| Tabela 3.1 – Características espectral Landsat-8 (Barsi, Lee, Kvaran, Markham, & Pedelty, 2014)..... | 51 |
| Tabela 3.2 – Características gerais do produto MOD 11 (Fonte: NASA, 2015)..... | 55 |
| Tabela 3.3 – Variáveis no modelo. | 60 |
| Tabela 3.4 – Path e row das imagens landsat-8. | 60 |
| Tabela 3.5 – Escala de comparação critérios..... | 63 |
| Tabela 4.1 – Matriz de comparação por pares. | 73 |
| Tabela 4.2 – Áreas de risco em percentagem da província de Luanda. | 75 |

Lista de abreviaturas e siglas

AHP - Analytic Hierarchy Process

ASTER GDEM - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer

CLP - Combinação Linear Ponderada

CZCS - Coastal Zone Color Scanner

DR - Detecção Remota

EOS - Earth Observing System

ERSDAC - Earth Remote Sensing Data Analysis Center

ESA - European Space Agency

GIS - Geographic information System

GPS - Global Position System

INE - Instituto Nacional de Estatística

LST - Land Surface Temperature

MDS - Modelo Digital de Superfície

MDT - Modelo Digital de Terreno

MNT - Modelo Numérico de Terreno

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MSI - MultiSpectral Instrument

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NDWI - Normalized Difference Water Index

NOOA - National Oceanic and Atmospheric Administration

OLI - Operational Land Imager

OMS - Organização Mundial da Saúde

SGBD - Sistema de Gestão de Base de Dados

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TIRS - Thermal Infrared Sensor

TWI - Topographic Wetness Index

USGS - United State Geological Survey

WHO - World Health Organization

Introdução

O geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Dentre essas tecnologias destacam-se: a Detecção Remota (DR), a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Ou seja, o SIG é de entre as técnicas de geoprocessamento, a mais ampla, uma vez que pode englobar todas as demais, mas nem todo o geoprocessamento é um SIG. O SIG são sistemas computacionais, usados para a análise dos factos e fenómenos que ocorrem no espaço geográfico. A sua capacidade de reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial, estruturando-os e integrando-os adequadamente, torna-o uma ferramenta essencial para a manipulação da informação geográfica (Resendes *et al.*, 2007).

A saúde e a doença têm uma dimensão espacial e podem assim ser expressas no contexto da distribuição geográfica, onde o espaço é o “palco” das condições em que as mesmas se desenvolvem (Silva *et al.*, 2010).

A distribuição/transmissão da malária está associada às condições ambientais e, especialmente, ao clima equatorial que contribui favoravelmente para aumentar a vulnerabilidade e recetividade à doença. A distribuição dos vetores de transmissão é regulada por fatores como a temperatura, a humidade relativa do ar e o regime das chuvas que criam condições favoráveis para a sua reprodução, o desenvolvimento e a longevidade. Além desses fatores climáticos, o tipo de terreno, a altitude e o estado de cobertura vegetal podem influenciar na densidade da espécie de *Anopheles*.

Nestes termos, os SIG tornaram-se, nos últimos anos, uma ferramenta de grande utilidade para o sector da saúde, pois possuem a capacidade de integrar inúmeras operações tais como levantamento, armazenamento, manipulação e seleção de dados e informações. Fornecem as ferramentas que nos possibilitam a análise dos dados, auxiliar no processo de ocorrência de eventos, simular uma situação, ajudar a planificar e a definir estratégias que facilitem as tomadas de decisão no campo da vigilância em saúde. Com a ajuda dos SIG, é possível o cruzamento de diversos dados socioeconómicos,

demográficos e ambientais, que possibilitam o cruzamento de informações de diferentes bases de dados (Leite & Abreu, 2009).

Este trabalho tem com objetivo principal estimar e definir áreas de elevado risco de transmissão de malária na província de Luanda, salientando que o estudo se baseou apenas em dados de 2017, recorrendo às técnicas de geoprocessamento. É fundamental que se verifique se haverá condições ambientais favoráveis ao vetor. Procurou-se com este trabalho contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica espacial da transmissão da malária.

O objetivo primordial deste trabalho foi definir áreas de risco de transmissão de malária em Luanda, tentando compreender a influência dos fatores ambientais e avaliar epidemiologicamente áreas de maior ou menor risco de transmissão desta doença, com recurso a ferramentas de modelação geográfica em SIG e DR.

Estrutura da tese

A tese é composta por 4 capítulos. No primeiro capítulo, apresentam-se os aspetos gerais da malária e a sua distribuição geográfica global, abordando-se também alguns aspetos sobre a doença em Angola. Ainda neste capítulo abordou-se a forma de transmissão, tratamento e controlo da doença.

No segundo capítulo, abordou-se essencialmente alguns conceitos sobre os SIG, DR e as suas aplicações no sector de saúde pública.

No terceiro capítulo, apresentam-se os materiais e métodos utilizados para elaboração deste trabalho, e as técnicas de SIG e DR aplicadas no ensaio metodológico.

E por último, apresentam-se os resultados e discussão e as considerações finais, de forma a avaliar até que ponto o objetivo traçado foi atingido. Ainda neste capítulo, abordam-se os métodos utilizados para criação do modelo preditivo.

Capítulo 1. - Malária

1.1. Aspetos gerais da doença

A malária é uma doença infecciosa causada pelo parasita do género *Plasmodium* transmitido ao ser humano através da picada da fêmea do mosquito *Anopheles*. Existem cinco espécies de parasita que causam malária no ser humano (Williams e Pinto, 2012): *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae* e *Plasmodium knowlesi*. Este último é responsável pela malária em macacos no sudeste asiático e foi recentemente identificado como sendo patogénico também para o Homem.

A malária é uma doença antiga. Registos históricos referenciam que certamente ocorreram casos de malária cerca de 2700 anos A.C (Biggs & Brown, 2001).

1.2. Distribuição global da malária

A malária foi considerada endêmica em 91 países e territórios em 2016, valor abaixo do encontrado em 2000 em que foram registados 108 países (WHO, 2016) (Fig. 1.1). A justificação para esta mudança pode ser atribuída à implantação em larga escala de tecnologias de pesquisa e intervenções no controlo da malária (WHO, 2016).

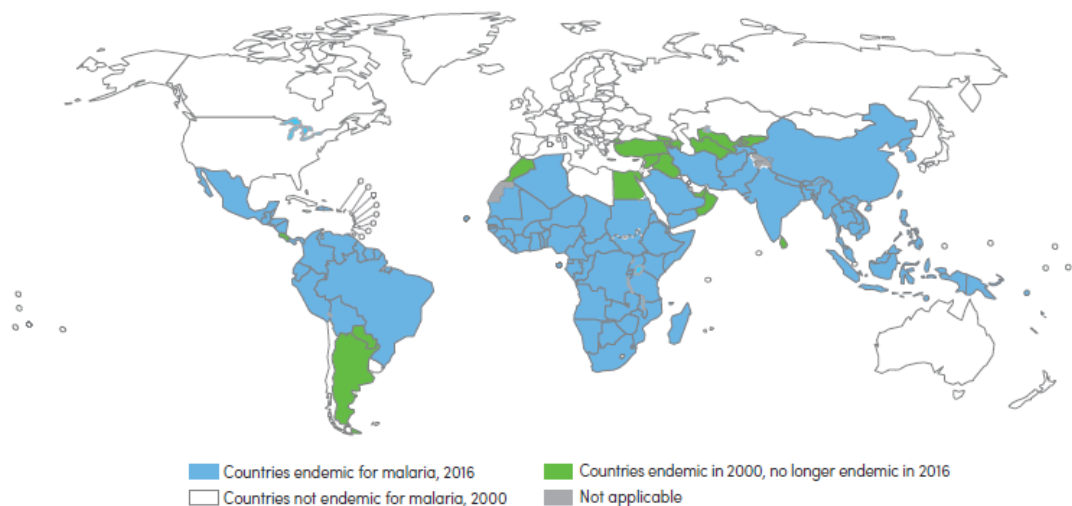


Figura 1.1 – Distribuição global da malária (WHO, 2016).

1.3. Malária em Angola

O paludismo ou malária em Angola é a maior causa de morte, de doença e de absentismo laboral e escolar (Ministério da Saúde da RA, 2011). Esta representa cerca de 35% da demanda de cuidados curativos, 20% de internamentos hospitalares, 40% das mortes perinatais e 25% de mortalidade materna (Programa Nacional do Controlo da Malária, 2010). A malária tem, não só um impacto negativo sobre a saúde das populações, como também no desenvolvimento social destas, tornando-as mais pobres. A malária é endémica nas 18 províncias do país, com a transmissão mais elevada registada nas províncias nortenhas (Cabinda, Uíge, Malange, Kuanza Norte, Lunda Norte e Lunda Sul), assim como a província de Luanda, devido à elevada densidade demográfica periurbana e deficientes condições de saneamento básico (Ministério da Saúde da RA, 2011). Nas províncias do sul, Namibe, Cunene, Huíla e Kuando Kubango, ocorrem surtos epidémicos. Nota-se um aumento de transmissão durante a estação das chuvas, com um pico entre os meses de Janeiro e Maio (Ministério da Saúde da RA, 2011). As áreas hiperendémicas são áreas onde a transmissão é intensa e áreas mesoendémicas são áreas onde a transmissão é moderada (Fig. 1.2).



Figura 1.2 – Malária em Angola (Ministério da Saúde, 2011).

Considerando a heterogeneidade das características de transmissão da malária, existem no país estratos populacionais com variados índices de prevalência. Predominam as infecções provocadas pelo *Plasmodium falciparum* (87%), seguido do *Plasmodium vivax* (cerca de 8-10%), *Plasmodium malariae* (3%) e *Plasmodium ovale* (1%) resultados do estudo de 2011 efetuado pelo Ministério da Saúde de Angola.

Segundo Vumbi (2016), apesar dos esforços para o controlo da malária, em certas regiões ela continua altamente endémica, o que leva a equacionar os fatores socioculturais como influenciadores do comportamento das comunidades relativamente à doença, mostrando a importância de novos estudos que permitam planejar novas estratégias de controlo da doença com enfoque nas comunidades.

Embora tenha havido um aumento acentuado no financiamento para o controlo da malária, bem como melhorias acentuadas, os objetivos delineados ainda permanecem por atingir em muitos países.

Existem grandes limitações na gestão dos programas de controlo do paludismo, em particular, a capacidade de vigilância e monitorização etimológica que é ainda rudimentar em muitos países endémicos, devido à falta de meios qualificados (Williams e Pinto, 2012). Os autores defendem que as intervenções de controlo de vetores devem ser feitas através da participação das comunidades, visando a proteção pessoal e familiar, até porque os métodos destinados a reduzir o contato humano-vetor implicam muitas vezes uma mudança nos hábitos da população, exigindo a realização de programas educacionais com foco no uso correto de mosquiteiros e outras medidas de proteção individual, no saneamento e sobre a necessidade de terapêutica “correta” (Williams e Pinto, 2012).

1.4. O vetor

Segundo Vumbi (2016), os mosquitos do género *Anopheles* pertencem à Família *Culicidae*, uma das mais importantes da ordem *Diptera*, e são caracterizados por apresentarem um aparelho bucal do tipo picador sugador alongado, constituído por vários estiletes protegidos por uma bainha comum. Esta morfologia permite a adoção de hábitos hematófagos, podendo alimentar-se de sangue de vários vertebrados entre os quais o Homem, conferindo-lhes assim uma grande importância médica. De acordo com a classificação de Richards & Davies (1977) a posição sistemática do género *Anopheles* é

a seguinte: Reino – *Animalia*, Filo – *Arthropoda*, Classe – *Insecta*, Subclasse – *Pterigota*, Ordem – *Diptera*, Subordem – *Nematocera*, Família – *Culicidae*, Subfamília – *Anophelinae* e Género – *Anopheles*.

A subfamília *Anophelinae* inclui três géneros (*Anopheles*, *Bironella* e *Chagasia*), sendo o género *Anopheles* o único com importância médica, por transmitirem as espécies de *Plasmodium spp.* que infectam humanos, além de serem vetores de filarioses e de várias arboviroses (Service, 1980; Ruppert & Barnes, 1996). Existem cerca de 430 espécies conhecidas de mosquitos *Anopheles*, das quais cerca de 70 são vetores de malária (Service & Townson 2002; Warrell & Gilles, 2002). Apesar de terem sido identificadas e implicadas várias espécies anofelinas na transmissão da doença, predomina o complexo do *Anopheles gambiae* (*ss*, *melas* e *arabiensis*), e *Anopheles funestus*.

1.5. Transmissão da doença pelo vetor

As espécies *Plasmodium falciparum* e *Plasmodium vivax* representam a maior ameaça a nível mundial dado que (WHO, 2016):

- *Plasmodium falciparum* é o agente da malária com maior prevalência no continente africano e é responsável pela maioria das mortes atribuídas a malária, a nível global;
- *Plasmodium vivax* é o parasita mais prevalente nas restantes regiões onde ocorre malária com exceção da África subsariana.

A transmissão é mais intensa em locais onde o tempo de vida do mosquito é maior (de modo que o parasita tenha tempo para completar seu desenvolvimento dentro do mosquito), e onde prefere picar humanos em vez de outros animais. A transmissão também depende de condições climáticas que possam afetar o número e sobrevivência de mosquitos, como padrões de chuva, temperatura e humidade (WHO, 2016). Em muitos lugares, a transmissão é sazonal, com o pico durante e logo após a estação chuvosa. As epidemias de malária podem ocorrer quando o clima e outras condições favorecem de repente a transmissão em áreas onde as pessoas têm pouca ou nenhuma imunidade à malária. Esses períodos também podem ocorrer quando as pessoas com baixa imunidade se deslocam para áreas com transmissão intensa da malária, por exemplo para encontrar trabalho ou como refugiados.

Ocasionalmente, a transmissão também pode ocorrer por transfusão de sangue, transplante de órgãos, partilha de agulhas ou por transmissão vertical (da mãe para o feto). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, em 2015, tenham sido identificados 212 milhões de casos de malária a nível mundial e que cerca de 429.000 pessoas tenham morrido da doença, principalmente crianças com menos de 5 anos de idade, devido à baixa imunidade.

Os parasitas presentes no mosquito instalam-se no fígado humano após a picada e atinge a maturação em 2 a 4 semanas. Após esse período invadem e destroem as células vermelhas do sangue causando os sintomas típicos da doença (Fig. 1.3).

Embora a prevalência da malária em termos globais tenha diminuído, muitas áreas continuam endêmicas e a utilização de medidas preventivas continuam inadequadas ou insuficientes. A malária constitui um grave problema de saúde pública na maioria dos países da África Subsaariana. A transmissão da malária ocorre também em áreas da América Central e do Sul, Ásia, Europa Oriental e Pacífico Sul.

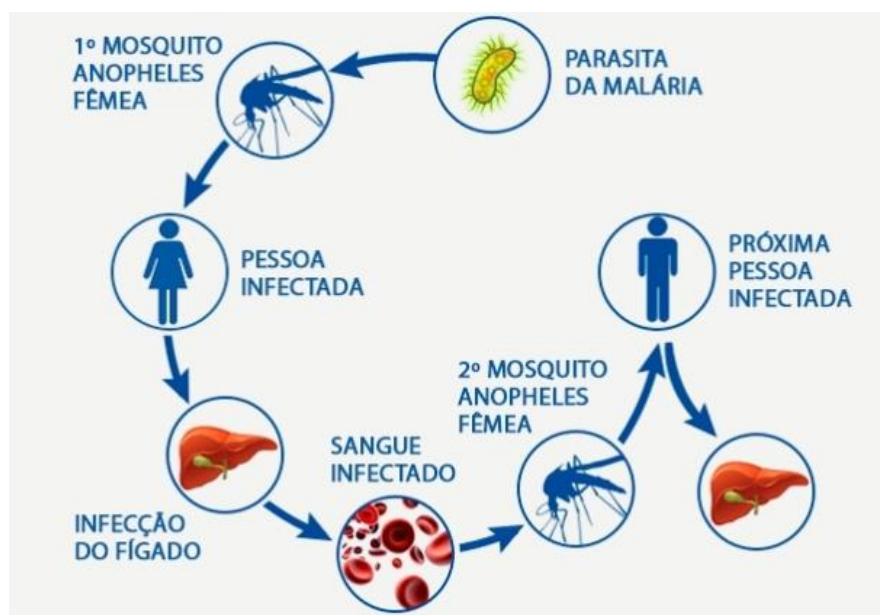


Figura 1.3 – Ciclo de transmissão do vetor (www.tuasaude.com/malaria/).

1.6. Ciclo de vida do parasita

Segundo Gomes, (2010), o ciclo de transmissão de malária divide-se numa fase de multiplicação sexual que ocorre no interior do mosquito, designada de fase esporogónica

e uma outra fase assexuada que ocorre no hospedeiro humano, denominada de esquizogónica (Knell, 1991). Este protozoário entra no organismo humano através da picada de algumas espécies de mosquitos do género *Anopheles*, designados de vetores da doença. Apenas as fêmeas de culicíneos e anofelíneos picam vertebrados para efetuarem uma refeição sanguínea (Gomes, 2010).

Na altura da picada e antes de sugarem o sangue, injetam uma pequena quantidade de saliva contendo substâncias anestésicas e anticoagulantes. É juntamente com a saliva que os esporozoítos, formas do *Plasmodium* infetante para o Homem, são inoculados num hospedeiro saudável. Cerca de 1 hora após a sua inoculação desaparecem da corrente sanguínea, migrando para o fígado e infetando os hepatócitos (Gomes, 2010).

O parasita ao invadir o fígado diferencia-se em trofozoítos (Fig. 1.4). Estes podem diferenciar-se numa célula multinucleada, o esquizonte, que por divisão origina milhares de merozoítos que são libertados na corrente sanguínea (Gomes, 2010). Nas espécies *Plasmodium ovale* e *Plasmodium vivax*, os trofozoítos hepáticos podem ainda diferenciar-se em formas dormentes do parasita designados de hipnozoítos (Gomes, 2010). Os merozoítos libertados na corrente sanguínea invadem os glóbulos vermelhos diferenciando-se em esquizontes eritrocíticos. Cada esquizonte por segmentação citoplasmática origina 8-12 novos merozoítos. Quando os eritrócitos rebentam, os merozoítos são libertados na corrente sanguínea e invadem novos glóbulos vermelhos reiniciando o ciclo (Gomes, 2010). À medida que a doença progride alguns merozoítos diferenciam-se em gametócitos, a forma do parasita infetante para o mosquito vetor. A fase de desenvolvimento do parasita no mosquito inicia-se com a picada deste numa pessoa infetada com plasmódios. A fêmea do mosquito ao sugar o sangue com gametócitos, inicia o ciclo esporogónico do parasita. Os gametócitos, já no interior do estômago do mosquito, libertam-se dos glóbulos vermelhos diferenciando-se em gâmetas masculinos e femininos. Inicia-se assim a fase sexuada do parasita (Gomes, 2010). As gâmetas fundem-se produzindo o zigoto que se desenvolve numa forma invasiva, o oocineto. Este invade a parede do intestino originando o oocisto. Este por divisão assexuada produz milhares de esporozoítos, que migrando pelo hemocélio do mosquito invadem as glândulas salivares. Atingindo as glândulas salivares os esporozoítos são

inoculados num outro hospedeiro vertebrado conjuntamente com a saliva durante a refeição sanguínea do mosquito (Knell, 1991).

Visto que a fase sexuada do parasita ocorre no interior do mosquito, este é designado como hospedeiro definitivo, sendo o humano o hospedeiro intermediário (Fig. 1.4).

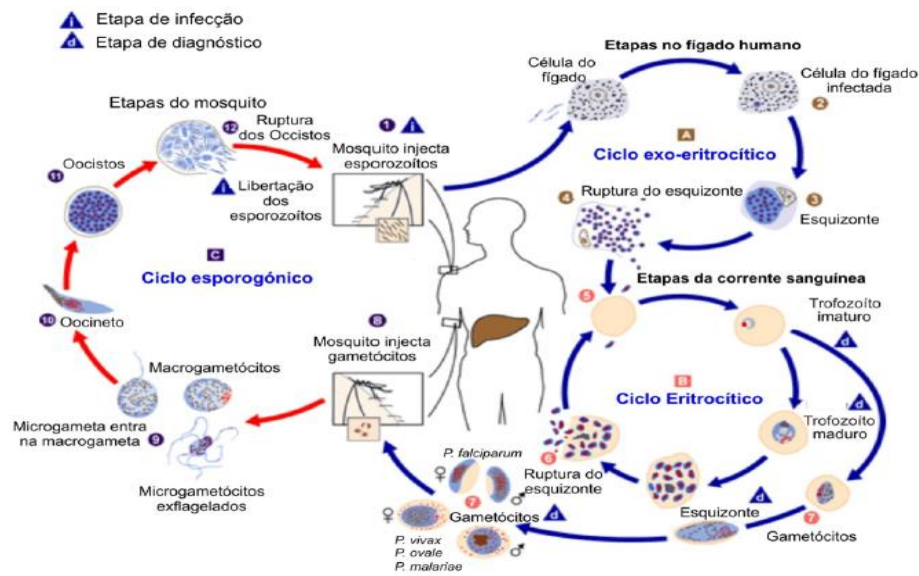


Figura 1.4 – Ciclo de vida do parasita (Gomes, 2010).

1.7. Sintomas e sinais

A sintomatologia da malária manifesta-se geralmente entre 8º a 25º dia após a infeção (Fairhurst & Wellem, 2010). No entanto, os sintomas podem-se manifestar mais tarde em indivíduos que tenham tomado medicação antimalárica de prevenção (Nadim & Behrens, 2012).

As manifestações iniciais da doença, iguais em todas as espécies de malária, são semelhantes aos sintomas da gripe, podendo ainda ser semelhantes aos de outras doenças virais e condições clínicas como a sepsis ou gastroenterite. Entre os sinais incluem-se dores de cabeça, febre, calafrios, dores nas articulações, vômitos, anemia hemolítica, icterícia, hemoglobina na urina, lesões na retina e convulsões (Beare *et al.*, 2006).

O sintoma clássico da malária, é a ocorrência cíclica de uma sensação súbita de frio intenso seguida por calafrios e posteriormente por febre e sudorese. Estes sintomas ocorrem a cada dois dias em infecções por *Plasmodium vivax* e *P. ovale* e a cada três dias em infecções por *Plasmodium malariae*. A infecção por *Plasmodium falciparum* pode provocar febre recorrente a cada 36-48 horas ou febre menos aguda, mas contínua (Ferri, 2009).

Os casos mais graves de malária são geralmente provocados por *Plasmodium falciparum*, variante que é muitas vezes denominada *malária falciparum*. Os sintomas desta variante manifestam-se entre 9 a 30 dias após a infecção. Os indivíduos com “malária cerebral” apresentam muitas vezes sintomas neurológicos, entre os quais postura anormal, nistagmo, paralisia do olhar conjugado (incapacidade de mover em conjunto os olhos na mesma direção), opistótono, convulsões ou coma (Bartoloni & Zammarchi, 2012).

1.8. Medidas preventivas da doença

Segundo Gomes (2010), o comportamento de cada pessoa pode direta ou indiretamente condicionar a taxa potencial de picada de mosquitos infetados em humanos, sendo vários os fatores favoráveis e desfavoráveis a este contacto.

Dos fatores favoráveis à picada do mosquito nos humanos, pode-se destacar uma maior exposição dos humanos em períodos de maior abundância de mosquitos e a não utilização de qualquer tipo de proteção como sejam roupas apropriadas, repelentes ou inseticidas (Gomes, 2010). Como fatores desfavoráveis à picada pode destacar-se o uso destes tipos de proteção e a utilização de redes protetoras nas habitações, prevenindo a presença do mosquito, e a possibilidade de este picar em humanos (Freier, 1989). Outro fator que pode contribuir para uma diminuição da presença desta espécie, passa pela implementação de medidas para a eliminação dos potenciais criadouros, nomeadamente com uma drenagem eficaz das águas em locais propícios à sua existência, levando a uma redução de águas paradas (Gomes, 2010).

Numa fase de infecção o diagnóstico e um correto tratamento tem que ser eficaz, para levar-se à interrupção do desenvolvimento da doença. A idade do paciente e o seu

estado de saúde, podem constituir fatores favoráveis ou refratários ao desenvolvimento da doença, tal como o seu estado imunitário (Githekov *et al.*, 1992) (Tab. 1.1).

Tabela 1.1 – Condições favoráveis e desfavoráveis à picada dos mosquitos em humanos e transmissão de malária.

| | Presença do mosquito | Taxa potencial de picada | Infeção |
|--------------------------------|---|--|--|
| Condições favoráveis | Fatores ambientais | Comportamento de risco Exposição | Capacidade de diagnóstico Tratamento eficaz Vacinação Imunidade Idade Estado de saúde |
| Condições desfavoráveis | Inseticida Drenagem Presença de animais | Repelente inseticida Roupas apropriadas Redes protetoras | Imunidade Idade Estado de saúde |

1.9. Tratamento da doença

O tratamento da malária deve seguir diferentes indicações conforme se trate de um caso de malária grave ou de malária não complicada (WHO, 2015b). Um paciente que apresenta sinais de malária e um teste parasitológico positivo (microscópico ou teste de diagnóstico rápido) mas que não apresenta características de malária severa, diz-se que é portador de malária não complicada (WHO, 2015b). Neste caso o tratamento tem por objetivo eliminar o mais rapidamente possível os parasitas do corpo, prevenir a transmissão a outras pessoas e impedir o aumento da resistência do parasita aos medicamentos antimaláricos. É recomendada uma medicação combinada de artemisinina e seus derivados, sendo cinco as combinações recomendadas: *artemeter e lumefantrine*, *artesanate e amodiaquina*, *artesanate e mefloquina*, e *artesanate, e dihydroartemisinina e piperaquine* (WHO, 2015b). O tratamento deve ter uma duração de 3 dias, de forma a cobrir dois ciclos de reprodução do parasita, assegurando que só resta uma pequena fração de parasitas, minimizando o risco de criar resistência aos medicamentos como resultado de um tratamento incompleto (WHO, 2015b).

No caso do tratamento da Malária grave, os doentes devem ser internados, de forma a que seja avaliada a condição respiratória, cardiovascular, renal e hepática, assim como o estado de consciência (Gomes *et al.*, 2011). São utilizados prioritariamente medicamentos derivados da artemisinina ministrados por via intravenosa, de ação mais rápida. Os mais comuns são *artesunate e artemeter*, que são bem tolerados pelos pacientes e que têm poucos efeitos adversos, dos quais os mais relevantes são diarreia, dores abdominais e náuseas (Gomes *et al.*, 2011). O quinino, é usado desde sempre no tratamento do paludismo, no entanto não atua sobre os gametócitos do *Plasmodium falciparum*. É absorvido rapidamente e eliminado pelo organismo, com meia vida de 12 horas. Os seus efeitos adversos principais são *deficit* auditivo transitório, tremores, distúrbios visuais, náuseas e vômitos, e hipoglicemia quando são ministradas doses muito altas (Gomes *et al.*, 2011).

A malária recorrente pode resultar de uma nova infeção ou de falha no tratamento de primeira infeção. A falha do tratamento pode resultar de resistência dos parasitas aos medicamentos, pelo facto de terem sido ministradas doses inadequadas de medicamento, de situações em que o paciente tenha vomitado o primeiro tratamento, ou ainda da fraca adesão ao tratamento pelo paciente, que o interrompe sem o ter completado. Embora seja difícil distinguir uma nova infeção de uma infeção maltratada considera-se que existe uma falha de tratamento quando a doença reaparece até quatro semanas após o tratamento (WHO, 2015b).

Os grupos de risco acrescido para a malária são as grávidas, as crianças com peso abaixo dos cinco quilos e pacientes co-infetados com vírus da imunodeficiência humana (WHO, 2015b). Estes pacientes enfrentam altas probabilidades de falha de tratamento se forem adotadas as dosagens recomendadas, sendo aconselhável maior concentração terapêutica e maior duração de tratamento. A malária na gravidez está associada a nascimentos de baixo peso, a anemias, a risco aumentado de malária severa, e à morte da criança e da mãe (WHO, 2015b).

1.10. Controlo da malária

De um modo geral, os programas nacionais de controlo de malária assentam em três pilares de atuação: (1) o controlo do parasita, efetuado com base no tratamento de casos e na quimioprofilaxia de grupos-alvo (crianças até aos 5 anos de idade e mulheres grávidas) com fármacos antimaláricos; (2) uma componente de educação comunitária, essencial para promover alterações nos hábitos das populações humanas que influenciam a eficácia dos métodos de controlo (e.g. uso correto de mosquiteiros, a necessidade de completar os regimes terapêuticos); (3) o controlo do vetor (Vumbi, 2016). O principal objetivo de um programa de controlo de vetores é a diminuição do contacto homem-vetor, com a consequente redução da transmissão do agente patogénico até ao limiar crítico abaixo do qual a doença provocada por esse agente patogénico deixa de ser um problema de saúde pública. O controlo efetivo de vetores não pode depender de um único método e é essencial dispor de alternativas adequadas à realidade local, que permitam sua execução de forma integrada e seletiva (Collins *et al.*, 2000). As medidas de controlo podem ser aplicadas tanto a formas imaturas (larvas e pupas) como a mosquitos adultos (Ward, 2008). Várias estratégias foram concebidas e postas em prática com a finalidade de reduzir a população de mosquitos ou de prevenir o contacto humano-vetor. Outras estratégias estão a ser investigadas como possíveis soluções para serem aplicadas nos programas de controlo (Ramirez *et al.*, 2009). As diversas estratégias de controlo podem enquadrar-se em quatro tipos principais: biológico, químico, físico e genético. O controlo biológico consiste na redução da população de vetores por introdução de inimigos naturais da espécie vetor (e.g. predadores, competidores, ou 12 agentes patogénicos) e de produtos biológicos sintetizados pela própria espécie-alvo, mas aplicados de forma a induzir alterações no seu desenvolvimento ou comportamento (Morena *et al.*, 2002). Apesar dos resultados não serem imediatos, têm a vantagem de serem alternativas não-poluentes aos métodos químicos (Hemingway, 2005). Os métodos de controlo genético são mais direcionados às formas adultas (Service, 1986; Service, 2008). O principal objetivo é induzir alterações genéticas desvantajosas para a espécie-alvo ou para o agente patogénico durante o seu desenvolvimento no vetor. Estas incluem a técnica de libertação de incestos estéreis (SIT – *Sterile Insect Technique*), na qual machos esterilizados por

processos químicos ou genéticos são libertados para acasalarem com fêmeas da população natural, causando a oviposição de ovos inférteis (Service, 1986; Pates & Curtis, 2005; Service, 2008). O controle físico consiste em eliminar ou modificar potenciais criadouros larvares. Assim, tornam-se as condições do ambiente desfavorável ao desenvolvimento das fases do ciclo de vida dependentes da água (ovo, larva e pupa) através de estratégias tais como a drenagem de águas paradas, retificação das bacias dos cursos de água, ou a eliminação de recipientes e pneus abandonados (Service, 1986).

Capítulo 2. – Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da Detecção Remota (DR) na área de saúde

2.1. Sistema de informação Geográfica (SIG)

Um SIG ou GIS – *Geographic information System*, pode definir-se como uma plataforma de *hardware e software* com grandes capacidades de armazenamento, organizando a informação por camadas, desde informação espacial a dados alfanuméricos. “Esta composição tem assim expressão no território.” Esta composição, ou seja, a informação espacial, ou representação espacial da informação, e os dados alfanuméricos têm expressão no território.

Também Burrough, em 1986, salientou que um SIG é um poderoso conjunto de instrumentos para reunir, armazenar, visualizar, transformar e apresentar, dados espacializados do mundo real, sistema que tem em vista um conjunto específico de objetivos.

A grande evolução dos SIG revelou-se nos últimos anos, embora estes tenham surgido nos anos 60. O seu desenvolvimento foi muito lento pois, inicialmente, era por um equipamento sem grande capacidade para o processamento requerido no manuseamento da informação geográfica, o que constituía um grande impeditivo à sua utilização. Apenas na década de 90, o *hardware* se adequou às necessidades exigidas (Matos, 2001).

O SIG é sido definido como conjuntos integrados de *hardware e software* capazes de desempenhar funções diversas, nomeadamente, a aquisição, organização, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados espacialmente referenciados e destinando-se a resolver problemas complexos de planeamento e de gestão (Raper, 1991, p. 1).

A informação geográfica não se limita à informação de âmbito cartográfico, deve ser entendida num sentido mais lato, englobando todo o tipo de informação suscetível de

ser georreferenciada, isto é, informação que pode ser relacionada com localizações específicas e passível de análise espacial (Machado, 1993).

DOE (1988), também citado em Machado (1993), expõe uma outra das principais características do SIG que é a da referência matemática dos objetos a coordenadas geográficas universais em conformidade com o rigor das ciências de medição da Terra.

Menciona-se por último, a existência de definições mais elaboradas, associando aos seus utilizadores, bem como às potencialidades atuais e futuras que oferecem, de apoio à organização do espaço. Um SIG seria assim um complexo homem-máquina, onde se inclui a informação e as ferramentas necessárias à aquisição, ao processamento, à visualização e à distribuição dos dados georreferenciados. Integram inventários, análises, conhecimentos sobre o território, úteis à investigação e às atividades da geografia aplicada (Machado, 1993).

2.2. Arquitetura do software SIG

Para permitir um melhor entendimento das operações de um SIG, esta secção contém uma análise da arquitetura interna deste tipo de sistema.

Numa visão abrangente, pode-se indicar a arquitetura do software SIG:

- Interface com o utilizador;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e impressão;
- Base de dados geográficos.

Estes componentes relacionam-se de forma hierárquica. No nível mais próximo ao utilizador, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado.

No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de entrada, processamento, visualização e saída de dados espaciais.

No nível mais interno do sistema, uma base de dados geográficos lida com os dados espaciais e seus atributos (Davis & Câmara, 2001).

De uma forma geral, as funções do SIG operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal. Os dados são recuperados dos arquivos em disco (que

podem ser controlados por um Sistema de Gestão de Bases de Dados - SGBD) e carregados em memória, a partir da definição de uma região geográfica de interesse. A figura 2.1, indica o inter-relacionamento dos principais componentes. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados estão presentes num SIG (Câmara & Ortiz, 1998).

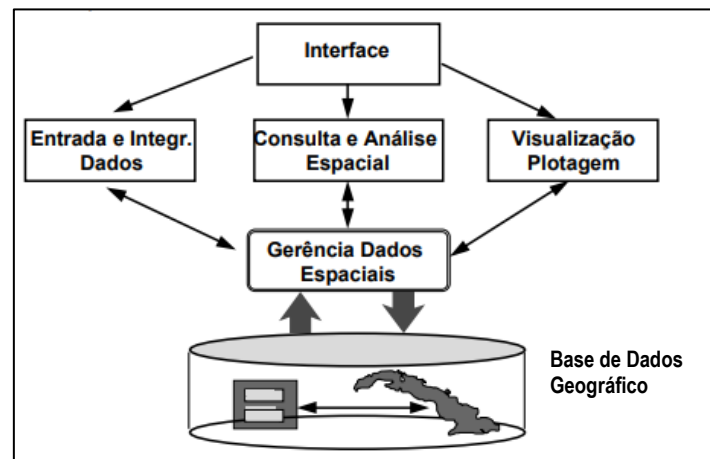


Figura 2.1 – Estrutura interna de um SIG (Câmara & Ortiz, 1998).

2.2.1. Componentes de um SIG

O SIG nos últimos tempos tornou-se um complexo de software, hardware, bases de dados, pessoas e procedimentos, todos ligados por computador em redes (Fig. 2.2). O SIG reúne diferentes conjuntos de dados que podem ser espalhados pelo espaço em explorações de dados diversos e na sua montagem em conjunto, é importante que os problemas de qualidade dos dados sejam abordados durante a integração dos mesmos. (Kerski, 2011).

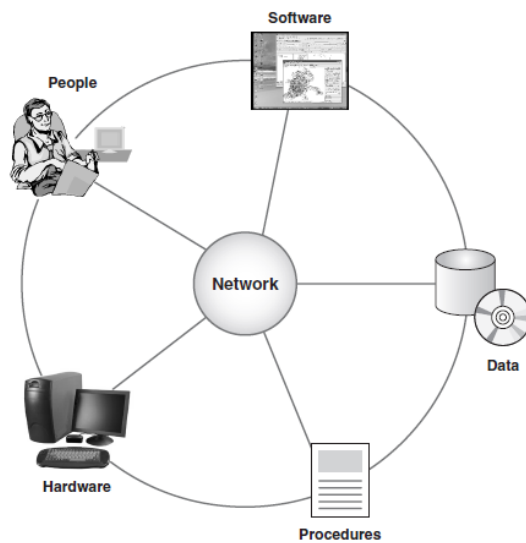


Figura 2.2 – Componentes de um SIG (Kerski, 2011).

2.2.2. Modelos de dados em SIG

Os dados a introduzir e/ou a visualizar/consultar no SIG podem ser de dois tipos: vetorial e *raster* (ou matricial).

Os modelos vetoriais, utilizando-se este adjetivo no sentido em que reproduzem no essencial o modelo conceptual da cartografia impressa, são bidimensionais e compostos por objetos estáticos e com fronteiras bem definidas. A utilização de uma terceira dimensão torna-se possível mediante projetam no espaço bidimensional e representação com recurso a objetos bidimensionais.

Assim no modelo vetorial podemos introduzir dados e editar dados do tipo pontos, linhas ou polígonos/áreas localizados a partir das suas coordenadas, como a figura 2.3.

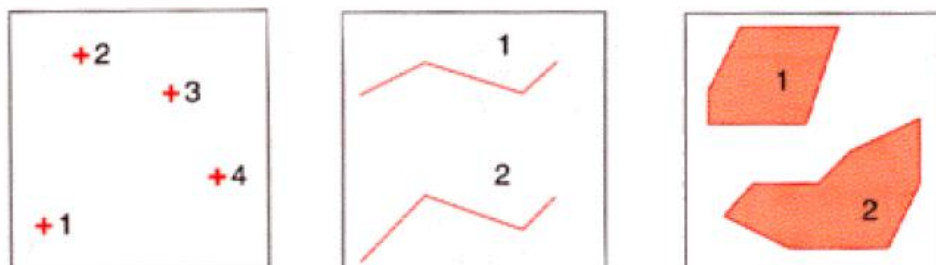


Figura 2.3 – Dados vetoriais (Cunha, 2011).

Uma representação matricial do espaço é constituída por uma discretização do espaço em células dispostas de forma regular cuja posição é identificável por índice de linha e coluna, em conjunto com a coordenada da primeira célula e com a dimensão das células. A cada célula está associado um único valor (Matos, 2001, p. 115).

Pode identificar-se como principal diferença entre os modelos matriciais e os modelos vetoriais o facto de, nos matriciais, o espaço ser particionado e não após a identificação de entidades. Estes modelos adequam-se melhor à modelação de fenómenos com distribuição contínua, para além de suportarem funções de análise espacial com recurso a algoritmos muito simples do ponto de vista conceptual (Matos, 2001, p. 115). A figura 2.4 representa as diferenças entre a apresentação de dados em formato vetorial e em formato *raster*/matricial, constituída por células ou pixéis, cuja localização é dada pela sua posição na grelha.

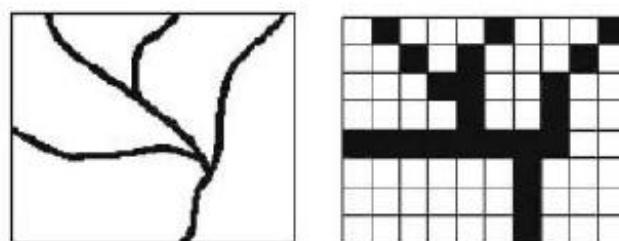


Figura 2.4 – Dados vetoriais e raster (Cunha, 2011).

2.2.3. Funcionalidade e potencialidade de um SIG

O conceito SIG engloba todo o tipo de informação cartográfica, mais a informação de índole quantitativa e/ou georreferenciável, representando cerca de 80 a 90% do universo da informação existente. Poder-se-á assim dizer que a “sociedade de informação” é, na realidade, uma “sociedade de informação geográfica ou georreferenciável” (Julião, 1999).

A figura 2.5 destaca o papel da informação geográfica e da geografia no campo de Ação da Sociedade da informação.

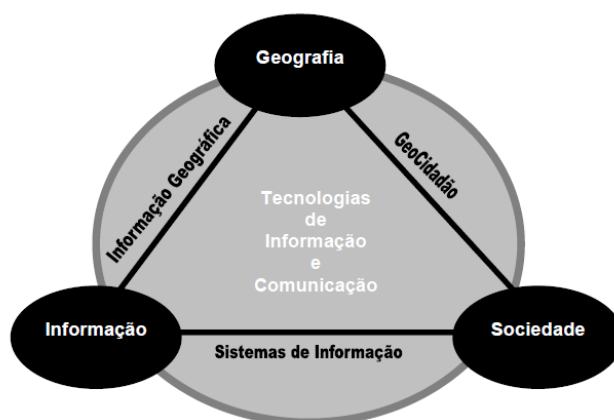


Figura 2.5 – Geografia, Informação e Sociedade (Julião, 1999).

O espaço geográfico é um elemento indissociável do desenvolvimento, servindo de base integradora a todos os fatores de crescimento económico. Estes fatores são os recursos humanos, os recursos naturais, o capital e a tecnologia. Estes quatro fatores que devidamente conjugados, permitem orientar o crescimento para as direções mais desejáveis (Samuelson *et al.*, 1989).

Assim, através da localização geográfica, qualquer fenómeno pode ser georreferenciado e introduzido no SIG, toda a informação é organizada por diversas camadas e sobrepostas para análise. Após a introdução de toda a informação indispensável ao SIG, podemos daí extrair inúmeras análises e para a expressão de cartografia temática.

2.3. Detecção Remota (DR)

Denomina-se DR quando a aquisição de informação à distância é efetuada através de um dispositivo de medição baseada na radiação emitida ou refletida por objetos, através de sensores de radiação eletromagnética orbitais, como é o caso dos satélites ou da fotografia aérea (Matos, 2008). Em DR, com sensores passivos, utiliza-se a parte do espectro eletromagnético abrangendo a amplitude de comprimento de onda no domínio do

visível e parte do infravermelho. Os sensores ativos utilizam a parte do espectro correspondente às micro-ondas recorrendo a tecnologia de radar (Matos, 2008).

Os elementos envolvidos num sistema de DR típico, de recolha de imagens são apresentados na figura 2.6:

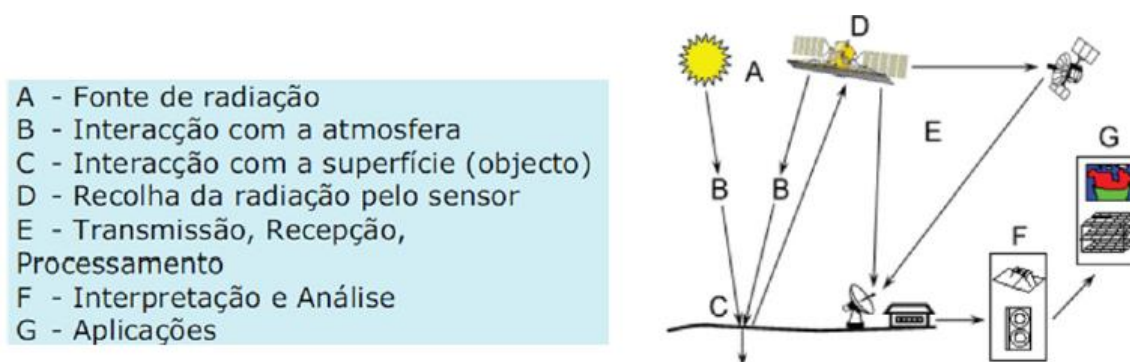


Figura 2.6 – Etapas da Detecção Remota.

Os sistemas de DR são especializados nas funções de recolha, visualização, armazenamento, classificação e manipulação de dados matriciais. Estes sistemas possuem ferramentas especializadas para a análise espectral com a realização de classificação supervisionada e não supervisionada. Entre os satélites/sensores mais conhecidos tem-se o *Sentinel*, *MODIS* que é um programa da NASA que disponibiliza observações globais da superfície terrestre, atmosfera e oceanos, *WorldView*, o *GeoEye*, o *QuickBird*, o *IKONOS*, o *SPOT* é um satélite ótico de imagens em alta-resolução, opera do espaço, observando a terra, o *LANDSAT*, o *IRS-P6* é um programa indiano de Satélites de Observação da Terra IRS (Indian Remote Sensing Satellite) oferece uma ampla possibilidade de acesso à imagens em diversas resoluções, o *CBERS* (Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres) surgiu em 1988 a partir de uma parceria entre o Brasil e a China, no setor técnico científico espacial. Essa iniciativa foi impulsionada pela necessidade de monitorar constantemente os territórios destes países, considerando os diversos recursos naturais e potenciais agrícolas e ambientais existentes, entre outros. A produção de cartografia de áreas extensas e os grandes avanços na resolução permitida têm reforçado a crescente importância da utilização da imagem de satélite como informação de base (Cosme, 2012).

As imagens iniciais captadas por sensores de DR, sofrem um pré-processamento, compreendendo a correção radiométrica e a correção geométrica e eventualmente a sua georreferenciação a partir de pontos identificáveis (hoje em dia não necessária) e com coordenadas conhecidas, de forma a permitir a sobreposição no SIG (Matos, 2008). As imagens também podem necessitar de classificação para identificação do tipo de fenómeno. Os sensores podem ser caracterizados, entre outros aspetos pela resolução e imagem produzida. Essa resolução pode ser a nível espacial, espectral, radiométrica e temporal.

2.4. O uso de imagens de satélite em saúde

O uso de imagens de satélite para caracterizar variáveis ambientais de interesse em estudos epidemiológicos vem despertando um crescente interesse, particularmente nos estudos sobre a dinâmica e distribuição de doenças infecciosas transmitidas por vetores (Correia *et al.*, 2004). Estas imagens são obtidas utilizando-se tecnologias de DR, que permitem a aquisição de dados sobre a superfície terrestre por meio de sensores localizados a bordo de satélites ambientais. Utilizando-se as características espaciais, temporais e espectrais dos sensores, pode-se monitorizar de forma sistemática e regular, as condições terrestres, fornecendo grandes quantidades de dados climáticos, cobertura vegetal e uso do solo. Essas informações podem ser usadas para mapear potenciais *habitats* de insetos vetores de doenças, avaliar o risco para certas doenças e sua variação no tempo e no espaço, prever alterações na população de vetores e reservatórios de infecção através do monitoramento das mudanças ambientais, e planejar programas de controle indicando as áreas de maior e menor risco para doenças.

Entre os fatores ambientais mais relacionados às endemias causadas por vetores e passíveis de observação a partir de plataformas espaciais destacam-se: temperatura, água, humidade do solo, condições da cobertura vegetal, desflorestamento, características urbanas, cor do oceano e topografia (Beck *et al.*, 2000).

Os sensores a bordo dos satélites são projetados para operar em diferentes porções do espectro eletromagnético (visível, infravermelho e micro-ondas) fornecendo dados

multiespectrais. Essa característica do sensor é conhecida como resolução espectral e se refere à sua capacidade de discriminar e caracterizar com maior precisão os alvos sobre a superfície terrestre. Como os alvos respondem diferentemente a cada uma das regiões do espectro eletromagnético, utilizam-se essas informações para caracterizá-los. Por exemplo, numa área de vegetação observa-se um valor alto de refletância na região do infravermelho próximo e um valor baixo na banda relativa ao vermelho visível. Possuem também diferentes resoluções espaciais. A resolução espacial pode ser entendida como a menor área de terreno possível de ser individualizada, e por último a resolução temporal, que está associada ao intervalo mínimo de tempo entre duas passagens do satélite sobre o mesmo ponto da terra. Essa propriedade permite obter imagens da mesma região em intervalos de tempo regulares possibilitando observar mudanças e entender onde, quando e como o ambiente está sendo alterado.

A tabela 2.1 apresenta os principais satélites e a resolução de seus sensores para o tipo de estudo apresentado neste trabalho. A escolha das imagens em cada estudo deve buscar um compromisso entre resolução espacial, espectral, temporal, tendo em vista os objetivos específicos da aplicação desejada. Por exemplo, estudos sobre doenças com transmissão focal, como a leishmaniose visceral, poderão beneficiar do uso de imagens obtidas por satélites de mais elevada resolução espacial. Por outro lado, sensores com menor resolução espacial e maior resolução temporal, podem ser úteis no monitoramento de transformações ambientais para avaliação de risco de ocorrências de doença em nível regional ou continental.

Tabela 2.1 – Lista de satélites atualmente disponíveis ou disponíveis no futuro próximo para monitorar os componentes da malária. PAN = panchromatic, VNIR= visível/ infravermelho-próximo, SWIR = infravermelho médio, TIR= infravermelho térmico, SAR = radar de abertura sintética LST = temperatura da superfície terrestre. Satélite que tem sido utilizado para estudos de malária são destacados (Ceccato, Connor, Jeanne, & Thomson, 2005).

| Mission | Sensor | PAN | VNIR | SWIR | TIR | SAR/Band | Swath (km) | Launch | Applications |
|----------------------------|------------------|------|-----------|----------|------|----------|------------|--------|---|
| Orbview-3 | Orbview-3 | 1 | 4 | | | | 8 | 2003 | Urban and sub-urban areas, refugee camps, land planning & infrastructures |
| Ikonos | Ikonos | 1 | 4 | | | | 11 | 1999 | Urban and sub-urban areas, refugee camps, land planning & infrastructures |
| Quickbird-2 | Quickbird | 0.61 | 2.44 | | | | 22 | 2001 | Urban and sub-urban areas, refugee camps, land planning & infrastructures |
| ALOS | AVNIR-2 | 3 | 10-15 | | | | 35-70 | 2004 | Land coverage and land-use classification maps |
| SPOT-5a | HRG | 5 | 10 | 20 | | | 60 | 2002 | Land coverage and land-use classification maps, vegetation and water bodies |
| SPOT-5b | HRG | 5 | 10 | 20 | | | 60 | 2004 | Land coverage and land-use classification maps, vegetation and water bodies |
| Landsat-7 | ETM+ | 15 | 30 | 30 | 30 | | 185 | 1999 | Land coverage and land-use classification, vegetation and water bodies |
| Landsat-5 | TM | | 30 | 30 | 120 | | 185 | 1984 | Land coverage and land-use classification, vegetation and water bodies |
| CBERS | CCD/IR-MSS 20/80 | | 20 | 20/80 | 80 | | 120 | 1999 | Land Surface Temperature (LST) |
| Terra | ASTER | | 15 | 20 | 90 | | 60 | 1999 | Vegetation, water bodies, LST |
| ADEOS-2 | GLI | | 250 | 250 | 1000 | | 1600 | 2002 | Vegetation, water bodies, LST |
| Terra | MODIS | | 250-1000 | 500-1000 | 1000 | | 2300 | 1999 | Vegetation monitoring, water bodies, LST |
| SPOT-5a | Vegetation | | 1000 | 1000 | | | 2200 | 2002 | Vegetation and water bodies |
| ENVISAT-1 | AATSR | | 1000 | 1000 | 1000 | | 512 | 2002 | Forest and natural vegetation |
| NOAA-M | AVHRR | | 1100 | 1100 | 1100 | | 3000 | 2002 | Vegetation monitoring, water bodies, LST |
| Orbview-2 | SeaWiFS | | 1100-4500 | | | | 1500-2800 | 1997 | Vegetation, water bodies, dust |
| Meteosat 7 | VISSR | | 2500 | | 5000 | | Hemisphere | 1997 | Rainfall estimation, LST |
| Meteosat-Second Generation | SEVIRI | | 1400 | | 4800 | | Hemisphere | 2002 | Rainfall estimation, LST |
| Radarsat-1 | SAR | | | | | 10-100/C | 45-500 | 1995 | Forest, water bodies |
| Radarsat-2 | SAR | | | | | 3-100/C | 10-500 | | Forest, water bodies |
| ENVISAT | ASAR | | | | | 30/C | 100 | 2002 | Weather, water bodies |
| ERS-2 | AMI-SAR | | | | | 30/C | 100 | 1995 | Vegetation, water bodies, weather |
| ALOS | PALSAR | | | | | 10/L | 70 | | Vegetation, water bodies |

2.5. A utilidade dos SIG aliados à DR na área da saúde

A incorporação de técnicas de geoprocessamento na área de saúde é relativamente recente e depende de um conjunto de bases tecnológicas e metodológicas. De um lado, o desenvolvimento tecnológico deve ser apoiado em problemas concretos da prática de saúde para não incorrer no tecnicismo ou na adoção de procedimentos inaplicáveis no dia-a-dia dos serviços. Do outro lado, esses serviços devem incorporar meios automatizados de recolha e análise de dados espaciais para superar as dificuldades de manipulação desses dados.

Pode-se considerar que é uma área de conhecimento que envolve diversas disciplinas, como a Cartografia, Computação, Geografia e Estatística.

A associação da medicina com a Geografia é antiga. Há mais de um século, epidemiologistas e outros cientistas da área da medicina começaram a explorar o potencial das informações veiculadas pelos mapas em processos de busca do conhecimento do dinamismo espacial das doenças (Pina & Santos, 1998). Um dos mais famosos utilizadores dos mapas, para as ciências médicas, foi John Snow, no século XIX, que teve a percepção de que a cólera, uma epidemia clássica na Europa daquela época, podia estar sendo propagada através do escoamento superficial das águas contaminadas (Pina & Santos, 1998). Recorrendo a mapas em que se representava a distribuição geográfica de mortes por cólera, em 1854 (Fig. 2.7), provou a associação entre estas e as regiões drenadas por águas contaminadas, trabalho que surpreendeu a todos na ocasião e permitiu descortinar um vasto campo para as aplicações cartográficas na investigação dos problemas de saúde (Scholten, 1991).



Figura 2.7 – Epidemia de cólera num bairro de Londres (Gomes, 2010).

Os SIG e a DR adquiriram grande importância ao auxiliar na compreensão e resolução de situações na saúde pública. Em vários trabalhos já realizados (Menezes & Rocha, 2009), estas ferramentas para se perceber como determinado fenômeno se propaga no espaço.

Como é exemplo o estudo da propagação da doença de Lyme (ou borreliose de Lyme) no nordeste dos Estados Unidos por Louisa (2002), onde se utilizaram várias imagens de satélite (*Landsat 5*), na tentativa de perceber como a doença se propagou de um núcleo de vegetação para as áreas urbanas, chegando-se à conclusão que determinados animais (veados e cães) eram os principais transmissores deste tipo de doença, uma vez que interagiam entre ambas as áreas e, que no núcleo de vegetação, determinadas espécies arbóreas favoreciam o desenvolvimento de parasitas. Outro caso de estudo da mesma autora foi a modelação e definição de surtos de cólera no Bangladesh (Menezes & Rocha, 2009), onde se recorreu a imagens de vários satélites para compreender quais as variáveis que mais influenciavam o desenvolvimento, quer espacial, quer temporal, de surtos de cólera.

Outros casos mais recentes como as tempestades de areia capturadas pelo satélite NOAA que possui uma órbita polar e orbitam a terra a uma altura aproximada de 860 km. Os satélites dessa série, possuem um sensor chamado AVHRR, que no ponto sub-satélite, possui resolução espacial de aproximadamente 1km x 1km. Eles fornecem imagens de excelente qualidade. Na costa oeste de África, vieram dar, de certa forma, mais realce à importância deste tipo de trabalho para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar das populações (Menezes & Rocha, 2009).

Diversos trabalhos têm demonstrado a utilidade das geotecnologias, na identificação e monitorização das variáveis ambientais associadas às variações da incidência de doenças infecciosas, dentre elas a malária, relacionando-as principalmente aos padrões espaciais e temporais dos tipos de vegetação e de sua fenologia, o uso e a cobertura do solo, identificação de corpos de água e assentamentos humanos. Beck *et al.* (1997), utilizaram imagens do satélite *Landsat TM* que possui um sensor que contribui para as observações da superfície terrestre, para estudar dois elementos paisagísticos associados com a abundância de uma determinada espécie de vetor que é um indicador

do risco de transmissão da malária. Elaboraram um modelo baseado em análise discriminante que foi capaz de distinguir as vilas com alta e baixa densidade de ocorrência do vetor, com uma precisão de 90%. O modelo também baseado em análise de regressão identificou, com sucesso, 7 das 10 vilas que tinham alta abundância do vetor.

Desta forma, pode atribuir-se aos SIG o papel efetivo de representar espacialmente os fenómenos e, através de toda a sua estrutura, permitir deliberar rapidamente sobre assuntos delicados, tais como as condições de saúde das populações.

Os fatores económicos neste tipo de estudos, por vezes, poderão ser um fator limitativo, pois a aquisição de imagens de satélite, fotografias aéreas ou imagens de radar em tempo útil e de boa resolução poderá ascender a custos muito elevados e, no somatório dos custos, onde já devem estar incluídos os valores da implementação de um projeto SIG, pode resultar um valor muito elevado e levar ao abandono deste tipo de projetos em detrimento de outras prioridades.

A abordagem geográfica do sistema de saúde pública, no âmbito do SIG, garante, com certeza, maior dinamismo e a reorientação das políticas públicas que hoje, “tal como estão, privilegiam as ações assistenciais e curativas em lugar das ações de prevenção” (Najar, 1992). A análise holística a que se propõe o SIG exige uma reorientação da abordagem atual, de modo a permitir uma melhor compreensão da importância das ações preventivas e uma maior eficiência na diminuição da mortalidade e no aumento da longevidade.

2.6. Metodologias SIG e DR aplicadas ao estudo da malária

Este tópico apresenta uma tabela síntese de vários trabalhos importantes publicados sobre o uso da tecnologia espacial para investigar a epidemiologia da malária. A tabela 2.1 mostra diversos estudos sobre a malária aplicando SIG e DR que remontam à década de 90, com vários trabalhos desenvolvidos principalmente em países africanos, onde são essencialmente usadas variáveis ambientais e técnicas/procedimentos de análise hierárquica de processos e regressão logística. Neste trabalho seguiu-se de perto a metodologia usada nos trabalhos elaborados no Senegal (Dar es Salaam) e no Zimbabwe.

Tabela 2.2 – Resumo das publicações sobre o estudo da malária aplicando SIG e DR.

| Ano | Autores | Título |
|------------|---|--|
| 1994 | Wood, B.; Washino, R.; Beck, L.; Hibbard, K.; Pitcairn, M.; Roberts, D.; Rejmankova, E.; Paris, J.; Hacker, C.; Salute, J.; Sebesta, P.; Legters, L. | Remote-sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high-risk for malaria transmission |
| 1997 | Thomson, M. C.; Connor, S. J.; Milligan, P.; Flasse, S. P. | Mapping malaria risk in Africa: What can satellite data contribute? |
| 2000 | Jeanne, I. | Malaria and schistosomiasis: two examples using systems of geographical information and teledetection in Madagascar |
| 2005 | Pope, K.; Masuoka, P.; Rejmankova, E.; Grieco, J.; Johnson, S.; Roberts, D. | Mosquito habitats, land use, and malaria risk in Belize from satellite imagery |
| 2005 | Ceccato, P Connor, SJ Jeanne, I Thomson, MC | Application of geographical information systems and remote sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk |
| 2007 | Bogh, C.; Lindsay, S. W.; Clarke, S. E.; Dean, A.; Jawara, M.; Pinder, M.; Thomas, C. J. | High spatial resolution mapping of malaria transmission risk in The Gambia, West Africa, using landsat TM satellite imagery |
| 2009 | Machault, Vanessa Vignolles, Cécile Pagès, Frédéric Gadiaga, Libasse Gaye, Abdoulaye Sokhna, Cheikh Trape, Jean-François Lacaux, Jean-Pierre Rogier, Christophe | Spatial heterogeneity and temporal evolution of malaria transmission risk in Dakar, Senegal, according to remotely sensed environmental data |
| 2009 | Marj, A. A.; Mobasheri, M. R.; Zoej, M. J. V.; Rezaei, Y.; Abaei, M. R. | Exploring the use of satellite images in the estimation of potential malaria outbreak regions |
| 2012 | Hanafi-Bojd, A. A.; Vatandoost, H.; Oshaghi, M. A.; Charrahy, Z.; Haghdooost, A. A.; Zamani, G.; Abedi, F.; Sedaghat, M. M.; Soltani, M.; Shahi, M.; Raeisi, A. | Spatial analysis and mapping of malaria risk in an endemic area, south of Iran: A GIS based decision making for planning of control |
| 2013 | Chikodzi, David | Spatial modelling of malaria risk zones using environmental, anthropogenic variables and geographical information systems techniques |
| 2014 | Ahmed, A | GIS and Remote Sensing for Malaria Risk Mapping, Ethiopia |
| 2014 | Benali, A.; Nunes, J. P.; Freitas, F. B.; Sousa, C. A.; Novo, M. T.; Lourenco, P. M.; Lima, J. C.; Seixas, J.; Almeida, A. P. G. | Satellite-derived estimation of environmental suitability for malaria vector development in Portugal |
| 2014 | Borderon, M.; Oliveau, S.; N'Donky, A.; Lalou, R. | Mapping Malaria Risk in Dakar, Senegal |
| 2015 | Joshi, N.; Tripathy, A. K.; D'Souza, C.; Mathias, P.; Joseph, K. | Forecast of Malaria in Rural Area Using Satellite Imagery and GIS |
| 2016 | Kabaria, C. W.; Molteni, F.; Mandike, R.; Chacky, F.; Noor, A. M.; Snow, R. W.; Linard, C | Mapping intra-urban malaria risk using high resolution satellite imagery: a case study of Dar es Salaam |

Capítulo 3. - Materiais e Métodos

3.1. Caracterização da área de estudo

Luanda é a capital de Angola com uma população estimada em 6 945 386 milhões de habitantes (INE, 2014), e também constitui o centro económico do país. Posiciona-se entre as cidades de maior crescimento em África e está localizada na costa oeste de África (Fig. 3.1).

Trata-se da segunda menor Província de Angola, com uma extensão territorial de 18.826 Km², o que representa 1,51% da extensão do território nacional. Luanda conta com uma localização geográfica privilegiada, usufruindo de uma baía e de uma restinga, a Ilha de Luanda, que se estende por mais de 14 Km de praias, permitindo boas acessibilidades, tanto por terra como por mar. Localizada geograficamente na latitude 8° 50' 00"S e longitude 13° 14' 00"E, é constituída por 9 municípios nomeadamente: Cacucaco, Belas, Cazenga, Ícolo e Bengo, Luanda, Quiçama, Viana, Kilamba Kiaxi e Talatona.

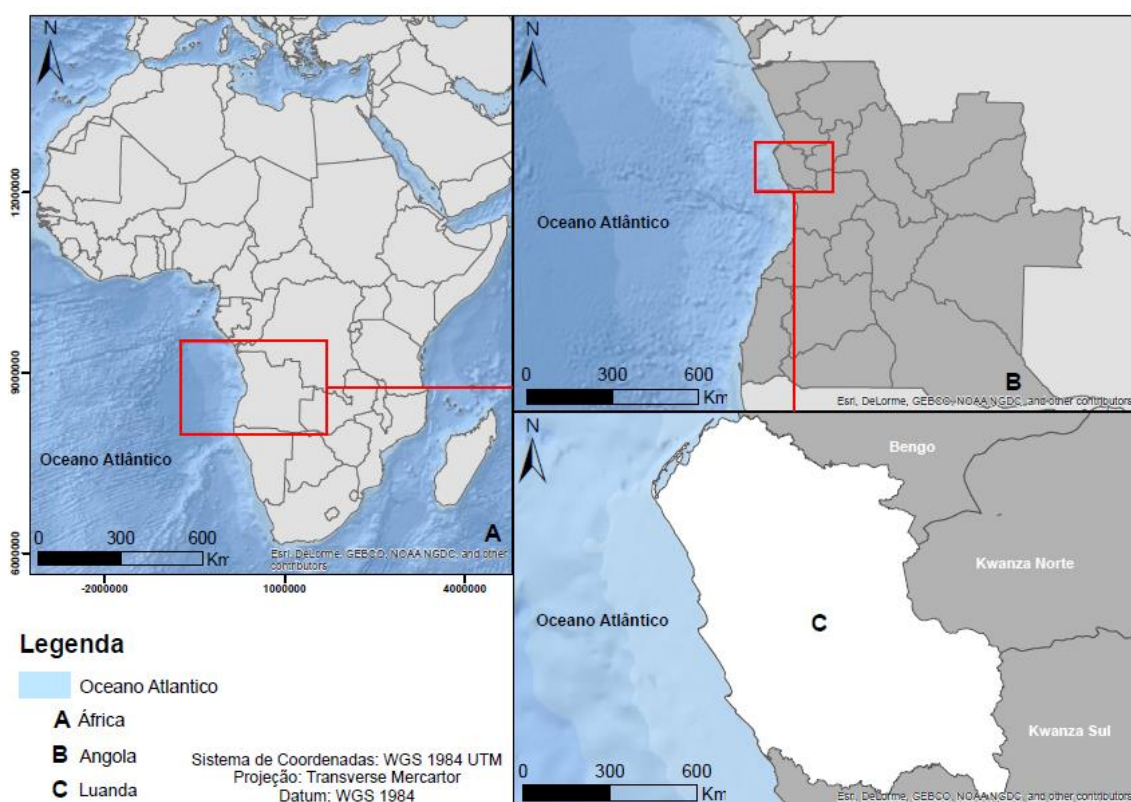


Figura 3.1 – Localização da área de estudo.

3.1.1. Clima

O clima predominante é conhecido como um clima de estepe local. Segundo a classificação de Köppen e Geiger o clima é classificado como BSh (clima semiárido quente), com 24.9 °C de temperatura média e a média anual de pluviosidade é de 573 mm (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007). Existe uma diferença de 176 mm entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso. Durante o ano as temperaturas médias variam 5.9 °C. No mês de Março, o mês mais quente do ano, a temperatura média é de 27.1 °C. 21.2 °C é a temperatura média de Julho que representa a temperatura média mais baixa de todo o ano. O mês mais seco é Junho e regista 0 mm de precipitação (Fig. 3.2). O mês de Abril é o mês com maior precipitação, apresentando uma média de 176 mm (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007).

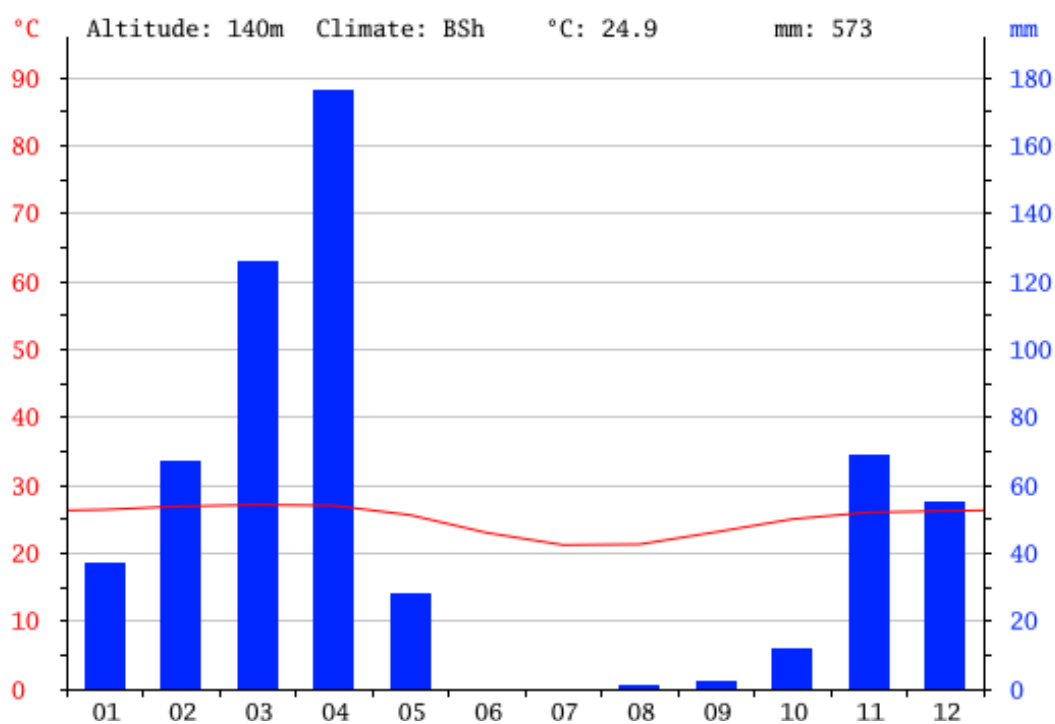


Figura 3.2 – Gráfico pluviométrico de Luanda (<https://pt.climate-data.org/>).

3.1.2. Vegetação e flora

Nas zonas não urbanas, a vegetação mais comum é o capim e poucas árvores, com destaque para o embondeiro. Merece ainda referência o facto do Parque Nacional da Quiçama fazer parte da Província de Luanda (Fig. 3.3).

O Parque Nacional da Quiçama ocupa uma área de 9.600 km². Está localizado na província de Luanda, a 75km da cidade. Encontra-se limitado pelo rio Kwanza, a norte, desde a sua foz até à Muxima. A sul, pelo rio Longa, entre a foz e a estrada de Mumbondo a Capolo; a oeste, pela linha da costa entre a foz dos rios Kwanza e Longa; e a leste, pela estrada que vai da Muxima, Demba Chio, Mumbondo e Capolo, até ao rio Longa. O Parque Nacional da Quiçama foi estabelecido como reserva de caça em 1938 e transformado em parque nacional em 1957 (Ministério do Ambiente da RA, 2016).

A variedade de vegetação resulta numa fauna abundante e variada. A vegetação varia muito das margens do Rio Kwanza ao interior do Parque: manguezais, mata densa, savana, árvores dispersas, catos, imbondeiros.

A diversidade de espécies que podemos encontrar neste parque natural é forte, desde elefantes, girafas, bânbis, leque, tartarugas, cobras, gnus, crocodilos, cabras-de-leque, hipopótamos, zebras, manatins, aves diversas, esquilos, macacos, entre outros (https://pt.wikipedia.org/wiki/Parque_Nacional_da_Kissama).

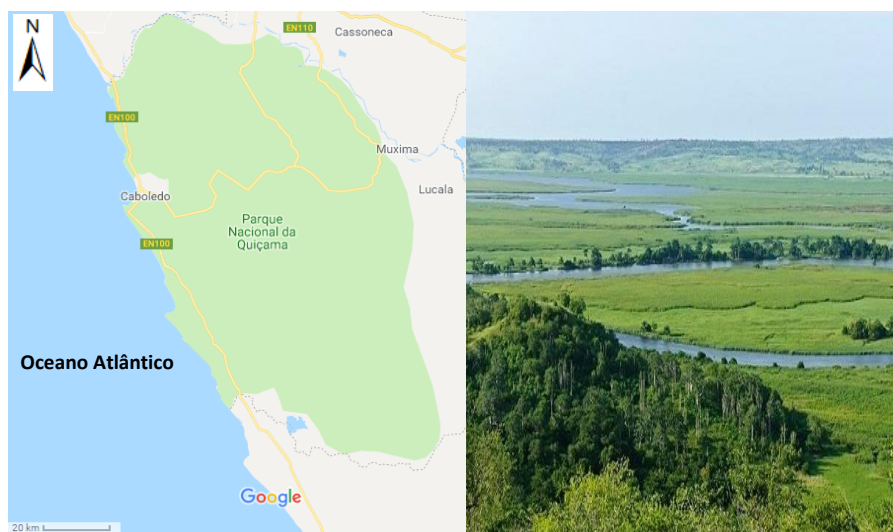


Figura 3.3 – Parque Nacional da Quiçama (Google Earth).

3.2. Dados utilizados

Neste trabalho para além de imagens de satélite, foram analisados e utilizados dados climatológicos e outros provenientes de fontes diversas que descrevemos em seguida.

Assim, para a realização deste trabalho foram utilizadas várias imagens de satélite (*Landsat-8* e *Sentinel-2A*) para a construção de um mosaico que engloba a região de Luanda, de forma a identificar os fatores ambientais associados à prevalência da malária. Foi feita uma classificação supervisionada de modo a se obter a caracterização do uso solo e combinar com outras variáveis afim de desenvolver um modelo preditivo de risco.

Landsat 8

O satélite *Landsat 8* foi lançado em 30 de maio de 2013 e é o oitavo satélite do programa *Landsat* (USGS, 2013).

As principais novidades do satélite *Landsat 8* em relação aos seus antecessores são a introdução de dois sensores novos: O *Operational Land Imager* (OLI) que apresenta semelhanças com o sensor ETM+ do *Landsat 7* que é um radiómetro de varredura multiespectral fixo, de oito bandas, capaz de fornecer informações de imagem de alta resolução da superfície terrestre, mas apresenta duas novas bandas espectrais, a banda 1 (*coastal aerosol*) e a banda 9 (*cirrus*); o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que acrescenta mais uma banda do infravermelho térmico em comparação com os seus antecessores (Fig. 3.4 e Tab. 3.1), passando dos 60 metros de resolução espacial dos anteriores satélites *Landsat* para os 30 m por intermédio do resampling (Caeiro, 2015).

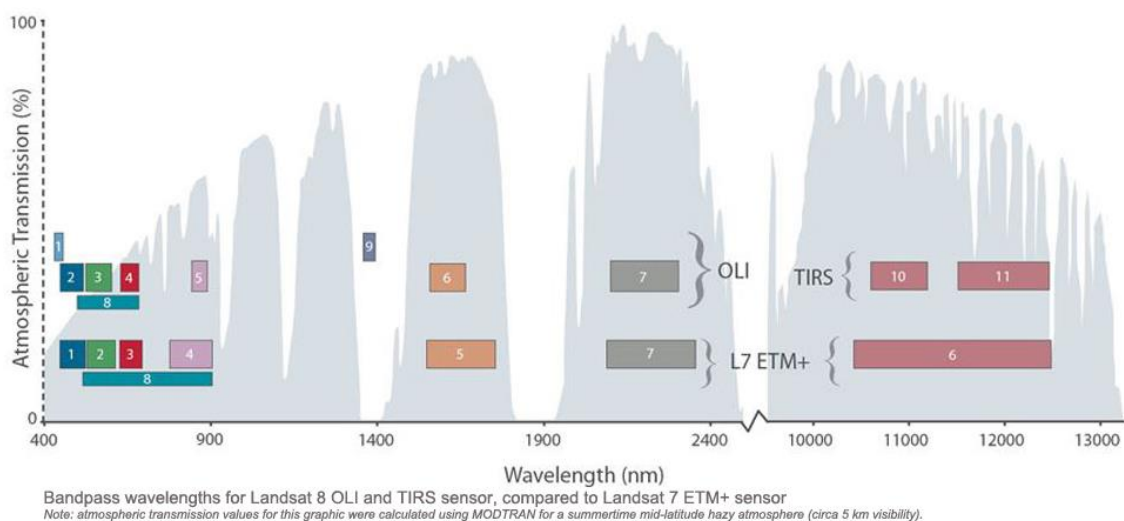


Figura 3.4 – Comparação da cobertura de bandas do *Landsat 7* e *8* e comprimento de onda das respectivas bandas (USGS, 2013).

Tabela 3.1 – Características espectral *Landsat-8* (Barsi, Lee, Kvaran, Markham, & Pedelty, 2014).

| Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) | Bands | Wavelength (micrometers) | Resolution (meters) |
|--|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | Band 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol) | 0.435 - 0.451 | 30 |
| | Band 2 - Blue | 0.452 - 0.512 | 30 |
| | Band 3 - Green | 0.533 - 0.590 | 30 |
| | Band 4 - Red | 0.636 - 0.673 | 30 |
| | Band 5 - Near Infrared (NIR) | 0.851 - 0.879 | 30 |
| | Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1 | 1.566 - 1.651 | 30 |
| | Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2 | 2.107 - 2.294 | 30 |
| | Band 8 - Panchromatic | 0.503 - 0.676 | 15 |
| | Band 9 - Cirrus | 1.363 - 1.384 | 30 |
| | Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1 | 10.60 - 11.19 | 100 * (30) |
| | Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2 | 11.50 - 12.51 | 100 * (30) |

* TIRS bands are acquired at 100 meter resolution, but are resampled to 30 meter in delivered data product.

Sentinel-2

O satélite *Sentinel-2A* foi lançado em junho de 2015. O seu objetivo é a monitorização da Terra, e a missão, nesta fase (desde março de 2017), já é composta por dois satélites de órbitas polares, em fase de 180 ° entre si, que fornecem imagens óticas de alta resolução (ESA, 2015). Vegetação, solo e áreas costeiras estão entre os elementos de monitorização.

A missão monitoriza a variabilidade nas condições da superfície terrestre, a sua

ampla largura de faixa e a sua alta frequência de revisão (10 dias no Equador com um satélite e 5 dias com 2 satélites sob condições livres de nuvens, o que resulta em 2-3 dias) apoiará a monitorização das mudanças na vegetação durante a estação de crescimento, fenologicamente (ESA, 2015).

O *Sentinel-2* MSI é um sensor que funciona recolhendo linhas de dados de imagem através da faixa orbital e utiliza o movimento para a frente da nave espacial ao longo do caminho da órbita para fornecer novas linhas para aquisição, tem 13 bandas espectrais (Fig. 3.5): quatro bandas com uma resolução espacial de 10 m, seis bandas com 20 m e três bandas com uma resolução espacial de 60 m (ESA, 2015). A largura da faixa orbital é de 290 km.

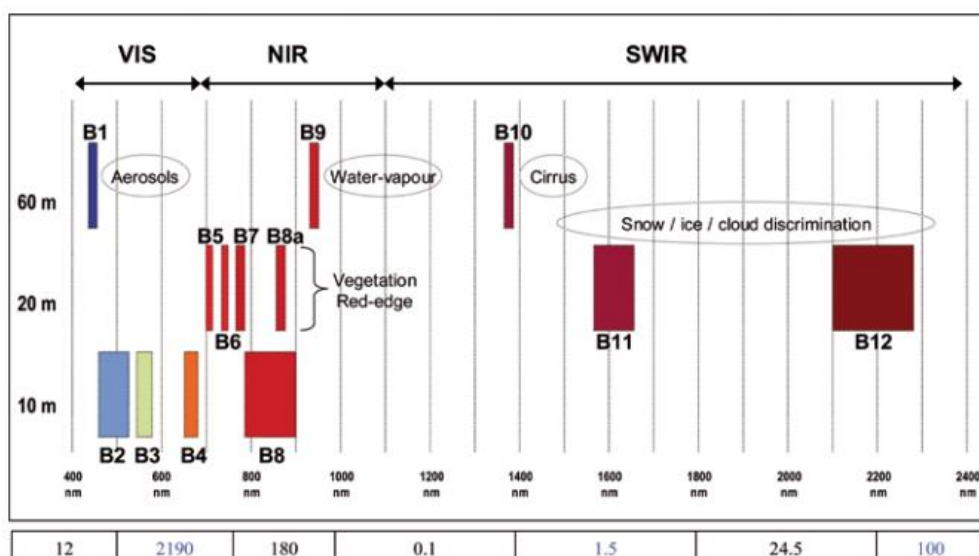


Figura 3.5 – Características de bandas espectrais do satélite *Sentinel-2* (Fletcher, 2012).

MODIS

Segundo Sampaio (2012), o *Earth Observing System* (EOS) é um programa da NASA que disponibiliza observações globais da superfície terrestre, atmosfera e oceanos durante um período de 15 ou mais anos. O EOS é constituído por uma série de satélites em órbitas polares e de baixa inclinação, uma rede de processadores, armazenamento e distribuição de dados e equipas de cientistas/investigadores que os analisam. O primeiro satélite deste programa foi lançado no final dos anos 90.

Face ao contínuo crescimento de uma população humana cada vez mais afetada pela variabilidade natural do ambiente e com uma participação ativa na evolução da Terra foram desenvolvidos, nos últimos anos, vários sensores EOS com o intuito de servir diferentes áreas de estudo. Um dos sensores mais importantes é o *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que, em comparação com os seus antecessores NOAA AVHRR que é uma imagem de detecção de radiação que pode ser usada para determinar remotamente a cobertura da nuvem e a temperatura da superfície terrestre, ou *Nimbus Coastal Zone Color Scanner* (CZCS), oferece uma combinação única de características com melhorias nas resoluções espectral e espacial e com uma maior frequência de coberturas globais da Terra (Xiong *et al.*, 2009). Tratando-se de um sensor versátil, permite gerar vários tipos de produtos, desde perfis de temperatura e humidade, a índices de vegetação e mapas de temperatura das superfícies oceânicas e terrestres (Roy *et al.*, 2002).

O primeiro sensor *MODIS* foi lançado em 1999, a bordo da plataforma EOS/Terra (formalmente denominada EOS-AM-1), com o objetivo principal de monitorar e entender as mudanças ocorridas nos ecossistemas terrestres. O segundo sensor foi lançado em 2002, a bordo da plataforma Aqua (EOS-PM), ressaltando-se dessa forma o caráter de monitoramento contínuo dos processos de mudanças globais (Rudorff *et al.*, 2007). Segundo Barker *et al.*, (1992), as principais características do sensor *MODIS* são a ampla cobertura espacial e espectral e a possibilidade de continuidade nas tomadas das medidas em razão da sua elevada resolução temporal.

O *MODIS* possui um ângulo de visão de $\pm 55^\circ$ que, combinado com uma órbita heliosíncrona de 705 km de altitude, permite adquirir informação com uma largura de varrimento de 2330 km e alcançar uma cobertura global da Terra a cada 1-2 dias (Jensen, 2006). O sensor obtém imagens com uma resolução radiométrica de 12 bits da radiação refletida (solar) e emitida (térmica) por todas as regiões do globo. As observações são realizadas em 36 bandas espectrais, que vão desde o visível até ao infravermelho térmico (0,4-14,4 μm), com uma resolução espacial que varia entre 250 m (bandas 1 e 2), 500 m (bandas 3 à 7) e 1 km (bandas 8 à 36). O projeto *MODIS* fornece à comunidade científica uma vasta quantidade de produtos standard calibrados globalmente.

MOD11

O MOD 11 é uma das variáveis chaves necessárias para descrever os processos da superfície terrestre, sendo extremamente requisitados para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (Running *et al.*, 1994). Cita-se, como exemplo de processos hidrológicos, a evapotranspiração, que é altamente sensível às flutuações da temperatura da superfície.

O algoritmo LST é utilizado para recompor “pixels” com emissividades conhecidas nas bandas 31 e 32 (Latorre, *et al.*, 2003). A base física dia/noite do algoritmo LST é utilizada simultaneamente para recompor bandas de emissividade e temperatura junto com dados observacionais das bandas 20 a 23 e 31 a 33 sobre todos os tipos de cobertura terrestre (Latorre, *et al.*, 2003).

O algoritmo *Split-window* do *MODIS* foi desenvolvido por Wan e Dozier (1996). De modo geral, este método corrige os efeitos atmosféricos comparando a absorção nas bandas infravermelhas adjacentes. Este é baseado na absorção diferencial atmosférica e requer que a emissividade da superfície seja conhecida nos dois canais adjacentes nas faixas espectrais termais localizadas em 10 e 13 μm , para que as correções atmosféricas sejam feitas (Wan *et al.*, 2002). Os efeitos atmosféricos são minimizados por meio da combinação da temperatura de brilho dos respectivos canais. Portanto, quanto mais exatidão houver no conhecimento da emissividade, maior a exatidão será espectável na estimativa da LST.

O produto MOD11_L2 versão 6, fornece temperatura da superfície terrestre por pixel (LST) e emissividade. O produto é produzido diariamente em incrementos temporais de 5 minutos de aquisição de satélite e tem um tamanho de pixel de 1000 m. A faixa é aproximadamente 2030 linhas ao longo da faixa e 1354 pixels de largura. Fornecidos juntamente com a camada de temperatura são as bandas de MODIS Terra 31 e 32, que fornecem valores de emissividade, uma camada de indicador de qualidade (Tab. 3.2).

Tabela 3.2 – Características gerais do produto MOD 11 (Fonte: NASA, 2015).

| SDS Layer Name | Description | Units | Data Type | Fill Value | Valid Range | Scaling Factor | Additional Offset |
|----------------|--|-----------|-------------------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|
| LST | Land Surface Temperature | Kelvin | 16-bit unsigned integer | 0 | 7500 to 65535 | 0.02 | N/A |
| QC | LST Quality Indicators | Bit Field | 16-bit signed integer | N/A | 0 to 65535 | N/A | N/A |
| Error_LST | Land Surface Temperature Error | Kelvin | 8-bit unsigned integer | 0 | 1 to 255 | 0.04 | N/A |
| Emis_31 | Band 31 Emissivity | None | 8-bit unsigned integer | 0 | 1 to 255 | 0.002 | 0.49 |
| Emis_32 | Band 32 Emissivity | None | 8-bit unsigned integer | 0 | 1 to 255 | 0.002 | 0.49 |
| View_angle | MODIS viewing angle | Degree | 8-bit unsigned integer | 255 | 0 to 180 | 0.5 | N/A |
| View_time | Local time of pixel observation | Hours | 8-bit unsigned integer | 255 | 0 to 240 | 0.1 | N/A |
| Latitude | Latitude of every 5th scan line and pixel | Degree | 32-bit float | -999.0 | -90.0 to 90.0 | N/A | N/A |
| Longitude | Longitude of every 5th scan line and pixel | Degree | 32-bit float | -999.0 | -180.0 to 180.0 | N/A | N/A |

Modelo digital de elevação (MDE)

Um MDE é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado (Andrade, 2008).

Existe variedade de terminologias para designar modelos digitais que representam a superfície terrestre. Modelos digitais de superfície (MDS), também conhecidos como MDE, representam a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela que influenciem no valor radiométrico do pixel. Ou seja, se existirem árvores e construções, a superfície representada refere-se ao topo das mesmas (Cruz *et al.*, 2011). Por outro lado, segundo Cruz *et al.*, (2011), os modelos digitais de terreno (MDT) representam a superfície real do terreno, ou seja, descrevem a altimetria do terreno, sem incluir edifícios, e, estes também são conhecidos como modelos numéricos de terreno (MNT).

Atualmente podemos utilizar dados altimétricos de distribuição gratuita provenientes de diferentes fontes: o SRTM, sigla em inglês para *Shuttle Radar Topography Mission*, que, segundo Rodriguez *et al.*, (2005), é atualmente o mais

completo conjunto de dados de elevação, abrangendo uma cobertura de 80% da superfície da Terra. Os dados do SRTM são obtidos por interferometria Radar. O MDE do SRTM tem 1 segundo de arco, com aproximadamente 30 m de resolução espacial.

De forma a poder adquirir duas imagens radar de perspectivas diferentes, a missão SRTM possuía duas antenas, uma colocada no corpo do *Space Shuttle Endeavour* e outra na extremidade de um braço com 60 m (base). O *Space Shuttle Endeavour* emitia um feixe de ondas radar que, ao chegarem à superfície terrestre, eram refletidas em várias direções, sendo posteriormente recebidas pelas duas antenas (Fig. 3.6)

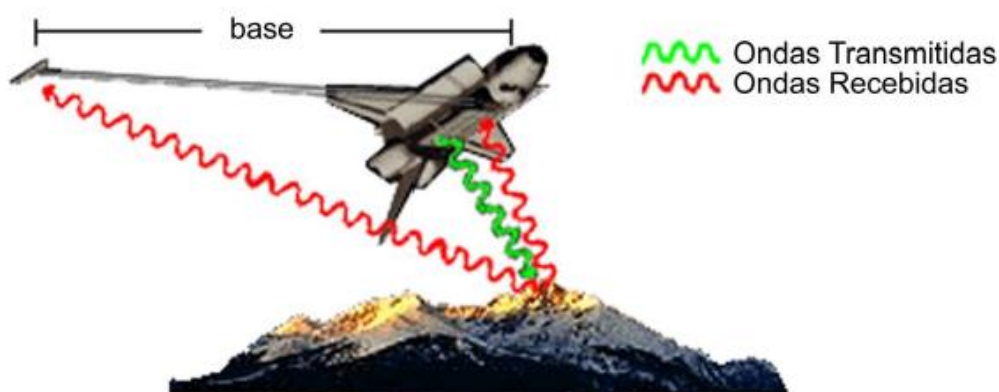


Figura 3.6 – processo de aquisição dos dados SRTM (Sampaio, 2012).

O ASTER GDEM, sigla em inglês para *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model*, é um esforço cooperativo entre a NASA, o Ministério de Economia, Comércio e Indústria (METI) do Japão e o Centro de Detecção Remota e Análise de Dados da Terra (Centro ERSDAC – sigla em inglês para *Japan's Earth Remote Sensing Data Analysis Center*). A pré-produção estimada para este produto tem a precisão global de 20 m para altimetria e de 30 m para os dados precisão posicional.

Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos através do projeto *WorldClim* (<http://www.worldclim.org/>). Este projeto disponibiliza um conjunto de camadas climáticas globais (grids de clima) com uma resolução espacial de aproximadamente 1 km². Os dados podem ser utilizados para mapeamento e modelação espacial.

3.4. Classificação de imagem

O objetivo das operações de classificação de imagem é substituir a análise visual da imagem por técnicas quantitativas, de modo a melhorar a identificação dos elementos na imagem.

Este processo envolve, normalmente, uma análise multiespectral da imagem e a aplicação de regras de decisão estatísticas de modo a identificar o tipo de ocupação do solo de cada pixel da imagem.

Estas regras de decisão podem ser baseadas na radiância espectral dos dados e o processo é designado por espectral, ou baseadas nas formas geométricas, no tamanho e no tipo de dados, e neste caso estamos no domínio espacial.

Deste modo, o objetivo da classificação é agrupar de forma automática todos os pixéis de uma imagem em conjuntos de classes ou temas de cobertura da superfície (água, urbano, vegetação, etc.).

Para isso, a classificação digital de imagem usa a informação espectral representada pelo número digital (ou refletância) de cada pixel numa ou várias bandas para classificar cada pixel individualmente, baseando-se na sua informação espectral (Barbosa *et al.*, 2010).

Este tipo de classificação é designado por reconhecimento espectral de padrões. A imagem resultante é assim constituída por um mosaico de pixéis, cada um deles pertencendo a uma classe ou tema particular, sendo essencialmente um mapa temático da imagem original.

Para realização deste trabalho utilizou-se a classificação supervisionada, procedendo a uma análise espectral das características dos elementos da imagem, e a informação numérica sobre os pixéis das áreas de treino (zonas onde a classe é conhecida) nas diferentes bandas. Esta é usada para treinar o algoritmo a reconhecer, para cada classe,

as zonas da imagem com propriedades espectrais semelhantes. Com base nessa informação, o algoritmo pode proceder à classificação de toda a imagem, conforme é explicitado na figura 3.7.

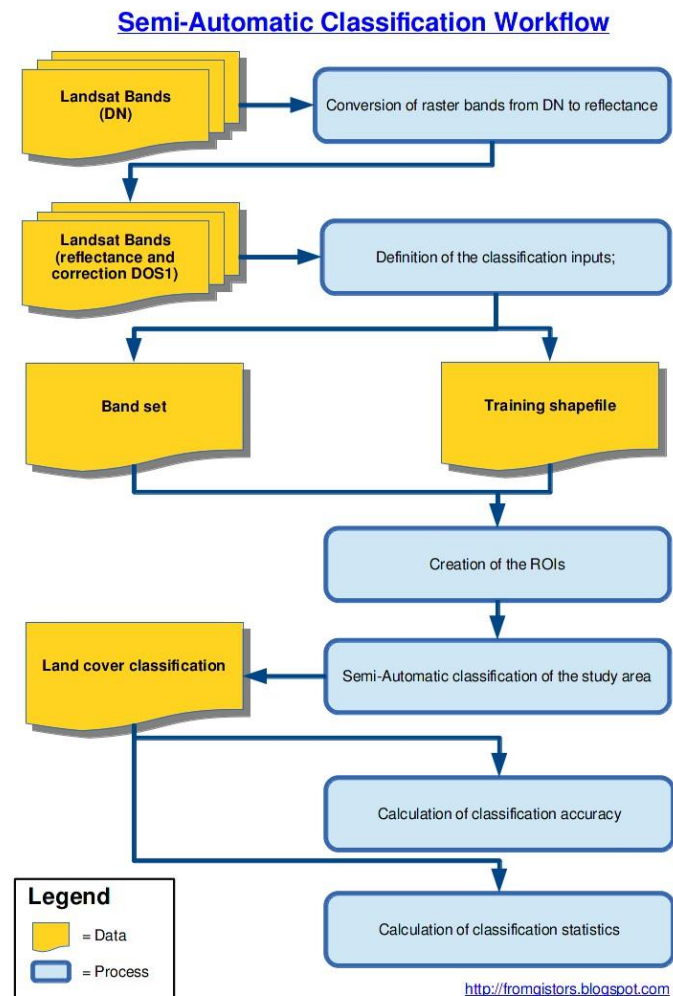


Figura 3.7 – Fluxograma da classificação supervisionada.

Variáveis geográficas adicionais para o modelo preditivo

Nas variáveis adicionais, os indicadores de humidade e de vegetação foram calculados a partir de imagens de satélite. O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo (NIR) e no vermelho (RED) e pela soma dessas mesmas refletividades, equação

1 (Araújo, et al., 2011). O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1. Nas superfícies que contêm água ou nuvens, esta variação é sempre menor do que 0.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) mede o teor de humidade na vegetação e é calculado através da refletância do infravermelho próximo (NIR) e o comprimento de onda verde (GREEN), equação 2 (McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

A altitude foi obtida a partir dos dados SRTM, o MDE disponível com uma resolução espacial de 30 metros, que serviu para a obtenção do índice topográfico de humidade (TWI).

O índice topográfico de humidade, desenvolvido por Beven e Kirby (1979) é calculado em função do declive e da quantidade de água a montante, e é dado pela equação 3 $TWI = \ln\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right)$ onde α representa a área de contribuição e β representa o declive. Os valores mais elevados representam as zonas de maior acumulação de água e correspondem as áreas mais planas, e os valores menores correspondem as áreas com menor potencial de acumulação de água, coincidindo com as áreas mais declivosas (Sörensen *et al.*, 2006). Com base a equação 3 fez-se o cálculo do TWI. (Fig. 3.8)

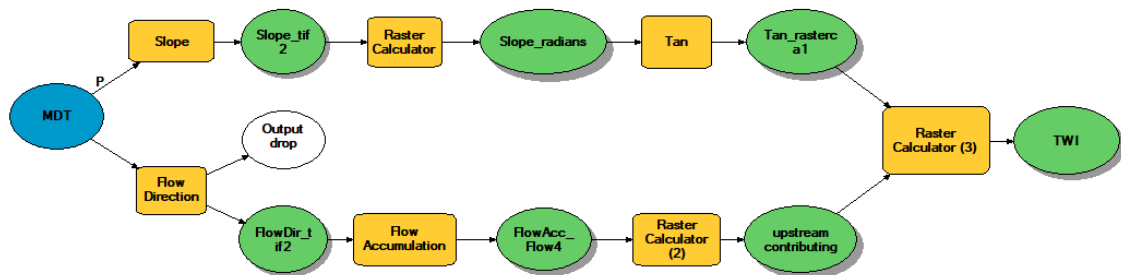


Figura 3.8 – Modelo de cálculo do índice topográfico de humidade (TWI).

A temperatura da superfície terrestre foi obtida a partir do produto MODIS/Terra. os produtos MODIS encontram-se no formato *hdf*, e para tal é necessário fazer conversão para um formato que é usual em ambiente SIG.

Desta forma conversão do formato foi feito no software HEG que é uma ferramenta desenvolvida pela NASA para permitir que o usuário se reformule, re-projeta e execute operações de juntar / mosaico e subconjunto em objetos HDF-EOS, posteriormente converte-se a temperatura de Kelvin para graus Celsius, equação 4.

$$TC = (MOD11 \times 0.02) - 273.15$$

Onde:

TC → Temperatura em graus Celsius

MOD11 → É o valor original do pixel em graus Kelvin

0.02 → É fornecido na descrição do produto

As tabelas 3.3 e 3.4 indica-se a origem dos dados de todas as variáveis que foram usadas na modelação do risco de transmissão de malária na província de Luanda.

Tabela 3.3 – Variáveis no modelo.

| <i>Variáveis</i> | <i>Fonte</i> | <i>Data de aquisição</i> |
|---------------------|--|--------------------------|
| <i>Uso do Solo</i> | <i>Landsat-8</i> (https://earthexplorer.usgs.gov/) | 13-05-17 & 20-05-17 |
| | <i>Sentinel-2A</i> (https://earthexplorer.usgs.gov/) | 15-06-17 & 01-08-17 |
| <i>Temperatura</i> | NASA (https://search.earthdata.nasa.gov/search) | 03-04-2017 |
| <i>Precipitação</i> | WorldClim (http://www.worldclim.org/) | 1970-2000 |
| <i>Altitude</i> | SRTM (https://earthexplorer.usgs.gov/) | 23-09-2014 |
| <i>TWI</i> | Derivado da altitude | |
| <i>NDVI</i> | Derivado da imagem de satélite (<i>Landsat-8</i> & <i>Sentinel-2A</i>) | |
| <i>NDWI</i> | Derivado da imagem de satélite (<i>Landsat-8</i> & <i>Sentinel-2A</i>) | |

Tabela 3.4 – Path e row das imagens landsat-8.

| <i>Path</i> | <i>Row</i> | <i>Data de aquisição</i> |
|-------------|------------|--------------------------|
| 182 | 66 | 04-05-2017 |
| 181 | 67 | 13-05-2017 |
| 182 | 67 | 20-05-2017 |

3.5. Definição das áreas de risco de transmissão de malária

Para a definição das áreas de risco de transmissão de malária na província de Luanda utilizou-se uma análise multicritério em modelos *raster* (matricial). Estas técnicas são utilizadas na avaliação de várias dimensões discordantes de um problema, sustentando a tomada de decisões.

A análise multicritério é uma ferramenta de avaliação de alternativas, particularmente interessante quando se exploram as diversas hipóteses de combinação de critérios, permitindo considerar diferentes cenários de avaliação. Como resultado do seu reconhecido potencial e da sua cada vez maior utilização, esta técnica atualmente integrada nas ferramentas disponibilizadas por vários programas SIG (Malczewski, 1999). Esta integração, foi considerada um avanço face ao procedimento convencional utilizado, que consistia no cruzamento de planos de informação de áreas de risco e de áreas prioritárias.

A avaliação multicritério envolve a utilização de dados georreferenciados, os conceitos definidos pelo os decisores e a manipulação desses dados e conceitos com base em regras de decisão específicas. A capacidade do SIG de adquirir, armazenar, recuperar, manipular e analisar os dados georreferenciados aliados à capacidade de combinar esses dados com os conceitos dos decisores em alternativas de decisão são de extrema importância na avaliação multicritério (Malczewski, 2004).

Os procedimentos de decisão multicritério definem a relação entre dados de entrada e saída. Ao longo do tempo, têm aumentado os processos de avaliação multicritério incorporados no SIG, sendo os mais conhecidos a combinação linear ponderada e as suas variantes, método do ponto ideal, análise de concordância e análise hierárquica de processos - AHP (Vettorazzi, 2006).

O método CLP é um dos modelos multicritério mais utilizados em SIG, sendo frequentemente usado em análises de adequação do uso do solo a diversas finalidades.

A principal razão da sua popularidade é a sua fácil implementação em SIG, usando-se operações de álgebra e modelação cartográfica (Malczewski, 2000).

Os fatores são combinados entre si (após serem convertidos numa escala comum) mediante a aplicação de um peso diferenciado a cada um deles, equação 5 (S corresponde à aptidão, W ao peso do fator i e X ao *score* do fator i).

$$S = \sum W_i X_i$$

Normalização das variáveis

Devido à natureza diversa dos fatores a utilizar, estes necessitam ser previamente convertidos numa escala comum (standardizada), de forma a ser possível a realização de operações entre eles.

Por outro lado, a variabilidade desta escala deve obedecer à mesma lógica, ou seja, valores mais elevados significando maior custo e menores mais aptos (ou vice-versa). A fórmula mais comum de conversão de uma escala corresponde à equação e escalonamento linear, equação 6 (Voogd, 1983).

$$X_i = (R_i - R_{min}) / (R_{max} - R_{min}) * m$$

No qual R_i corresponde ao valor de partida da célula (*raster*), R_{min} ao valor mínimo do raster, R_{max} ao valor máximo do raster e m um valor arbitrário de multiplicação.

Uma das técnicas mais utilizadas para atribuição de pesos é a comparação de par a par de fatores, desenvolvida por Saaty (1977), que ficou conhecida como AHP ou método de Saaty (Bernasconi et al., 2010).

Este método tem sido utilizado para situações de definição de prioridades, decisão estratégicas, negociação e resolução de conflitos, precisão de cenários e análise de decisão sob risco.

Este método baseia-se em 3 princípios do pensamento analítico:

- Definição dos objetivos e dos fatores a ter em linha de conta;
- Definição das prioridades/preferências entre os fatores através de uma matriz de comparação por pares;
- Síntese e atribuição de pesos.

Após a definição dos fatores a considerar deve-se realizar uma comparação de pares dos critérios, de acordo com uma escala numérica qualitativa. Essa matriz é uma matriz

recíproca. Isso implica que apenas a metade triangular superior direita da matriz necessita de ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores unitários (Eastman, 2001). O desenvolvimento das comparações par a par de critérios exige a adoção de uma escala que expresse e possibilite a normalização dos julgamentos efetuados (Tab. 3.5)

Tabela 3.5 – Escala de comparação critérios.

| 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Extremamente menos importante | Bastante menos importante | Muito menos importante | Pouco menos importante | Igual importância | Pouco mais importante | Muito importante | Bastante mais importante | Extremamente mais importante |

O passo seguinte corresponde à atribuição dos pesos relativos (escala qualitativa) através de uma matriz de comparação por pares.

Aos valores indicados em linha deve-se preencher o recíproco respetivo em coluna.

- Os elementos nas matrizes de comparações assumem valores na escala (1/9,9);
- As aplicações usuais do AHP costumam limitar-se a utilização de valores inteiros da escala;
- Quando dois elementos m e n são comparados, o valor 1 denota uma situação onde não existe diferença entre m e n;
- Quando m é muito mais importante ou preferido com relação à n, o valor 9 é utilizado. Se o oposto for verdadeiro, o valor 1/9 é utilizado;
- Valores intermediários da escala denotam situações intermédias.

A metodologia usada na modelação da transmissão da malária baseou-se principalmente nas observações de satélite, com os métodos AHP CLP para a obtenção das áreas de transmissão de malária de elevado risco (Fig. 3.9).

Os softwares empregados neste trabalho foram o QuantumGis que permitiu fazer a classificação supervisionada para obtenção do uso do solo, NDVI e NDWI. HEG para extrair a temperatura da superfície terrestre, o Microsoft Excel onde foi determinado o peso final das variáveis, também foi usado o ArcGis para cálculo do TWI e na análise multicritério para obtenção do modelo preditivo de risco de transmissão da malária através da ferramenta *raster calculator*, foi então possível usar as variáveis com os pesos atribuídos (CLP).

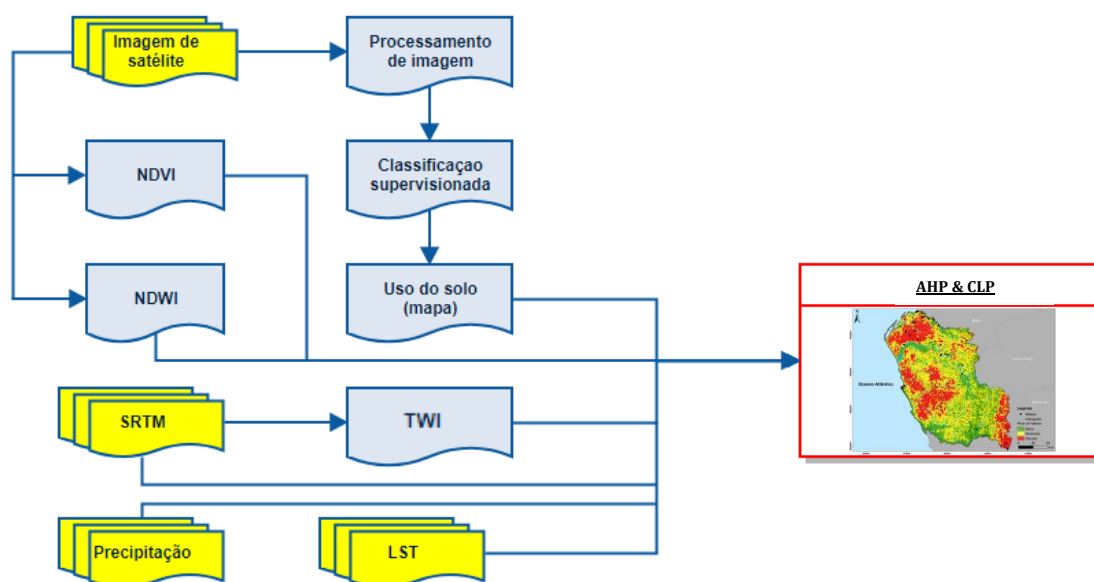


Figura 3.9 – Fluxograma da metodologia aplicada neste estudo.

Capítulo 4. - Resultados e discussão

4.1. Resultados

A utilização de modelo preditivo no contexto de estudo de variáveis ambientais é de grande utilidade uma vez que estes modelos são dispositivos que se utilizam a partir conhecimento prévio para prever tendências e eventos.

Os modelos preditivos têm três elementos básicos em comum: informação, método e resultado. O modelo preditivo utiliza o método para transformar informação em resultados previsíveis. Informação é o conjunto do conhecimento já existente do qual o modelo é derivado. Dois tipos básicos de informação podem ser utilizados no desenvolvimento de modelos preditivos (Warren, 1990): *i*) teorias que explicam os efeitos processuais das variáveis independentes nos eventos de interesse segundo uma relação de causa e efeito; *ii*) observações empíricas, que normalmente consistem em, a) interações observadas entre variáveis dependentes e independentes em estudos prévios ou em partes amostradas da área de interesse e, b) informação sobre as variáveis e condições que possam influenciar o resultado na área de interesse amostrada (Warren, 1990).

Assim, depois de todos os procedimentos efetuados tendo em conta todas as variáveis e parâmetros utilizados para esse estudo procedeu-se então à criação de um modelo preditivo para determinar áreas com elevados riscos de malária.

Para criação do modelo fez-se o cruzamento de diferentes variáveis e a atribuição de pesos de acordo com o grau de importância que cada variável representou nesse referido modelo. Pode-se observar nas figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 as diferentes variáveis selecionadas para a construção do modelo.

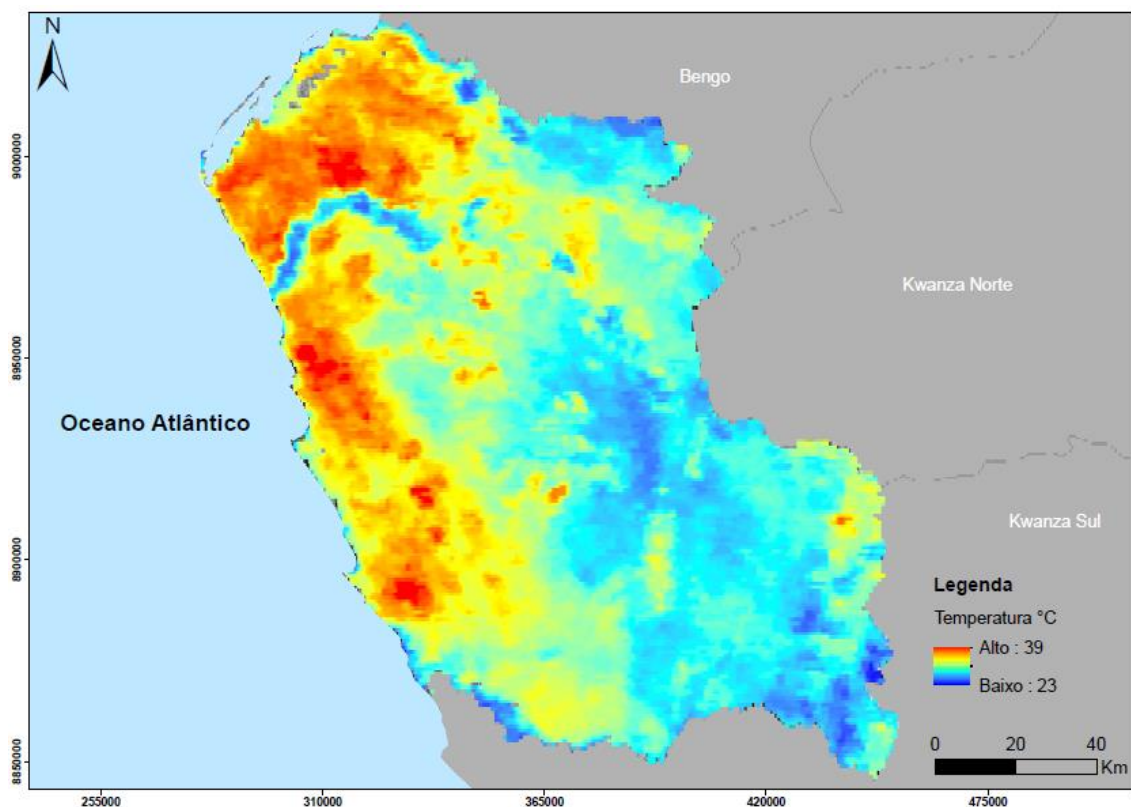


Figura 4.1 – Mapa da variável temperatura usado no modelo preditivo.

A temperatura é um dos fatores que pode contribuir significativamente para o aumento ou diminuição da proliferação do vetor. O produto MOD11_L2 é fornecido diariamente e para este estudo foi escolhido um dia do mês de abril por se notar um aumento na transmissão da malária através dos casos reportados. Para que a proliferação aconteça é necessário que a temperatura seja, no mínimo, de 18° C.

A partir do mapa pode-se verificar que os valores da temperatura variam entre 39° C de máxima e 23° C de mínima. Pode-se concluir que as temperaturas mínimas se encontram na zona sul da província enquanto as máximas a norte, na área urbanizada da cidade, e a oeste.

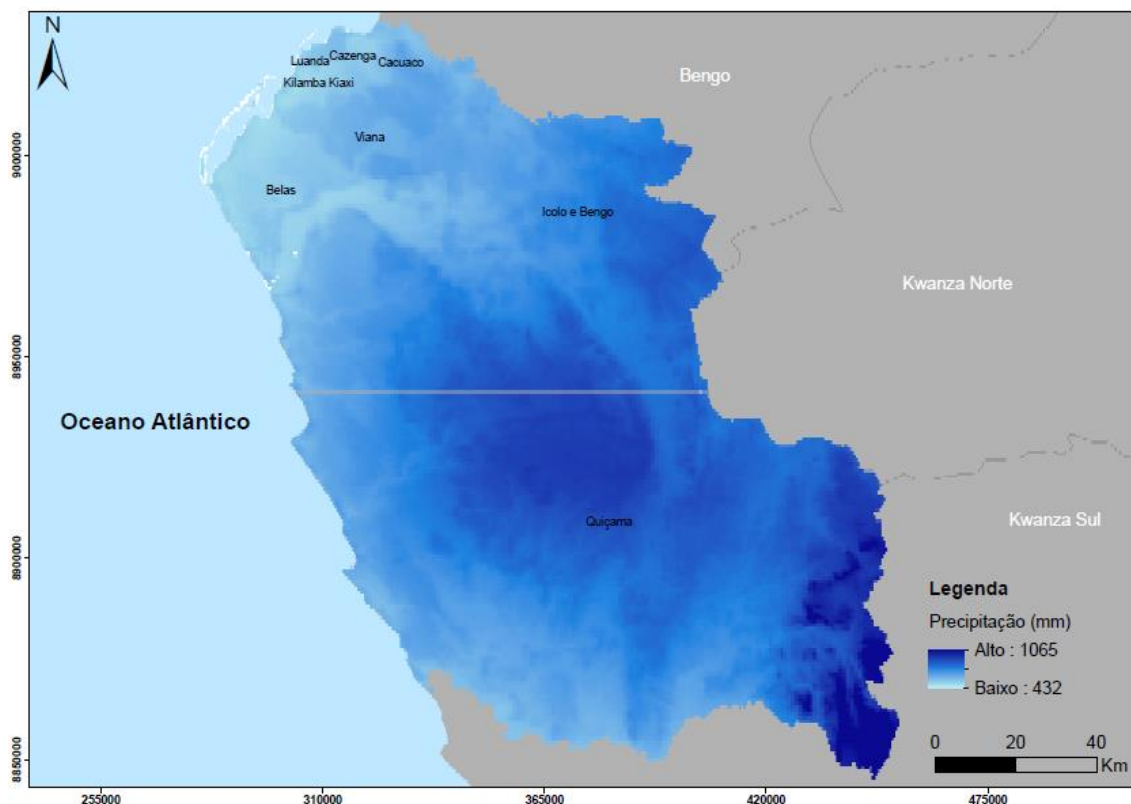


Figura 4.2 – Mapa da variável de precipitação usado no modelo preditivo.

O mapa mostra a variabilidade na distribuição da precipitação da época chuvosa (de Setembro a Abril, de 1970-2000) na província de Luanda, com os valores máximos de 1065 mm de precipitação e 423 mm de precipitação mínima. Pode-se observar (Fig. 4.2) que as áreas da Quiçama e o Sudeste, apresentam valores mais elevados de precipitação, enquanto que a orla costeira e as localidades mais a norte têm valores mais baixos. Também pode-se observar valores de baixa precipitação em zonas onde tem presença de rios.

De uma forma geral constata-se que os maiores valores de precipitação estão concentrados na zona sul da província, sendo este um fator chave para a proliferação da doença.

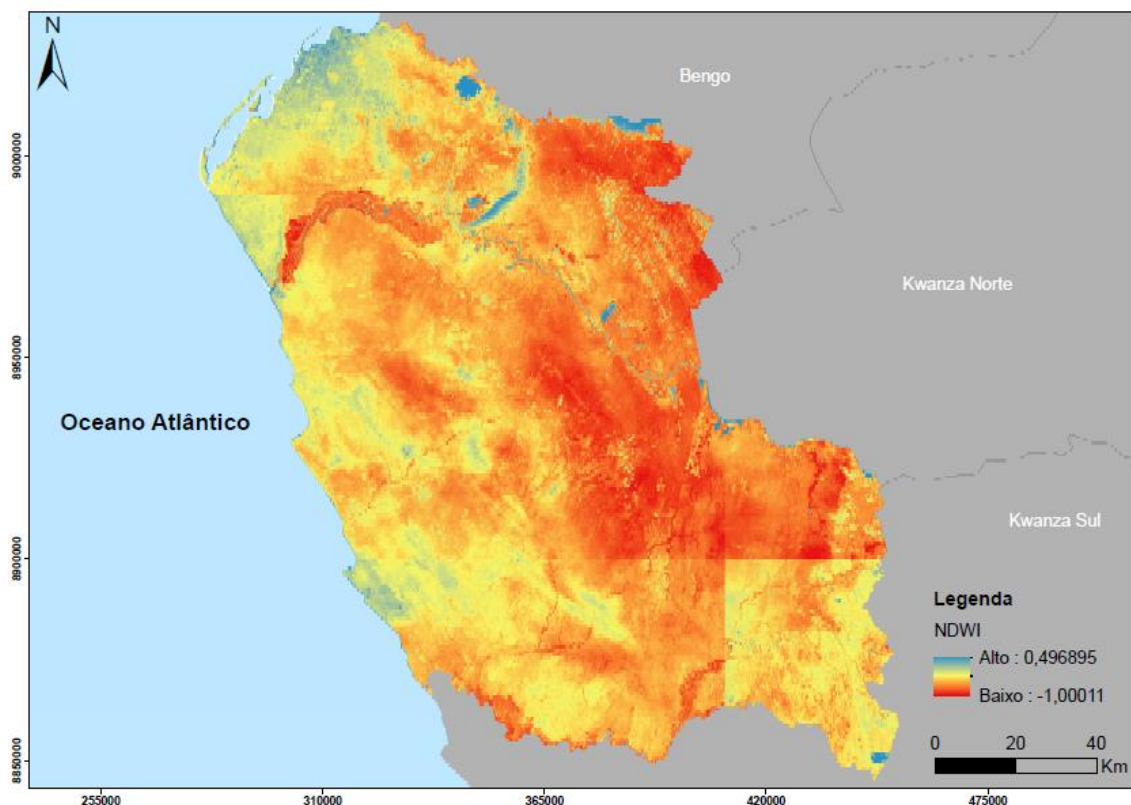


Figura 4.3 – Mapa da variável de NDWI usado no modelo preditivo.

A partir do mapa acima pode-se verificar que os valores de NDWI apresentam uma grande assimetria na província.

Os valores NDWI variam de -1 a +1, com valores mais altos indicando superfícies aquosas. Os valores de NDWI maiores que zero são assumidos como representando superfícies de água, enquanto que valores inferiores ou iguais a zero são assumidos como superfícies não aquosas.

Na figura 4.3, o valor mais elevado de concentração de NDWI encontra-se associado à rede hidrográfica com valores que variam de 0,49 de máxima a -1,00 de mínima, NDWI aplicado no estudo permitiu detetar superfícies de água que é um fator preponderante para a proliferação do vetor.

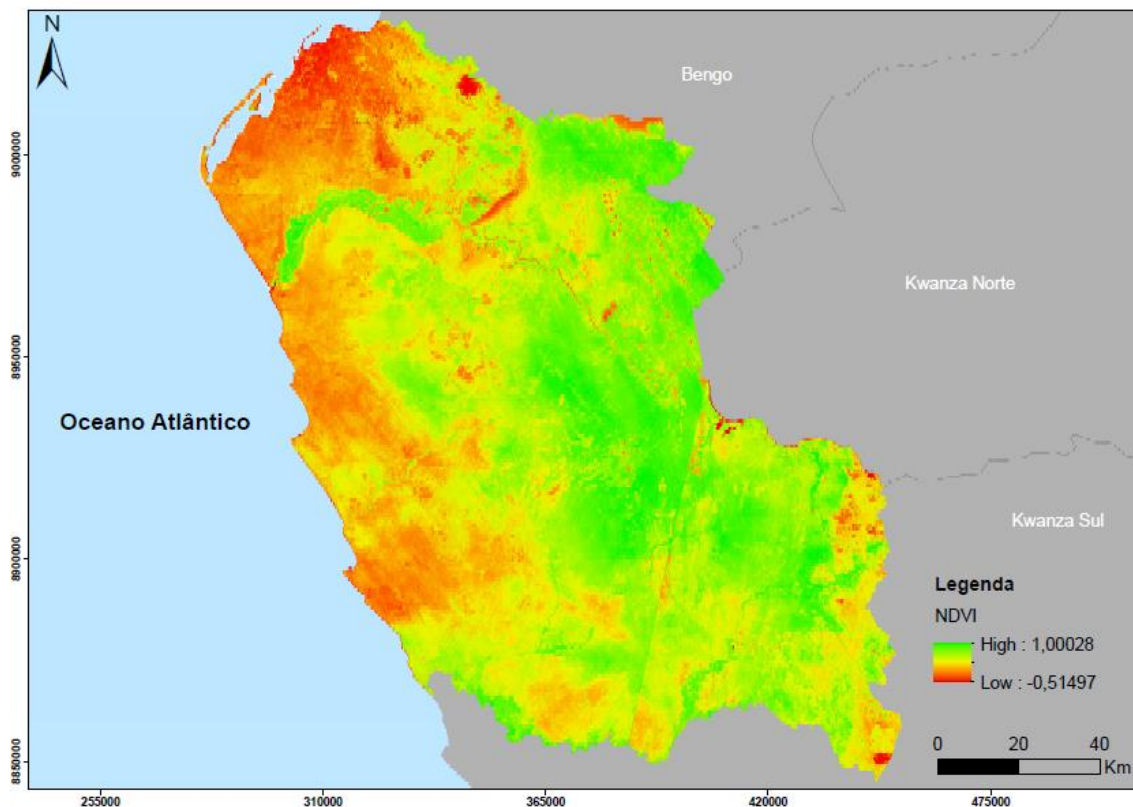


Figura 4.4 – Mapa da variável de NDVI usado no modelo preditivo.

A vegetação é frequentemente associada à criação de vetores, alimentação e locais de repouso do mosquito.

O NDVI tem forte correlação com precipitação e humidade, além do seu alto potencial de caracterização da cobertura vegetal.

Fatores esses que influenciam na distribuição e abundância de certos vetores.

A outra constatação é que as principais ocorrências de modificação do NDVI estão associadas às áreas próximas à rede hidrográfica e menor ocorrência em áreas urbanas. Assim, pelos dados da figura 4.4 verifica-se que os índices mais elevados de vegetação se encontram no centro da província e junto à rede hidrográfica com valor de 1,00 enquanto que valor mais baixo e de -0,51.

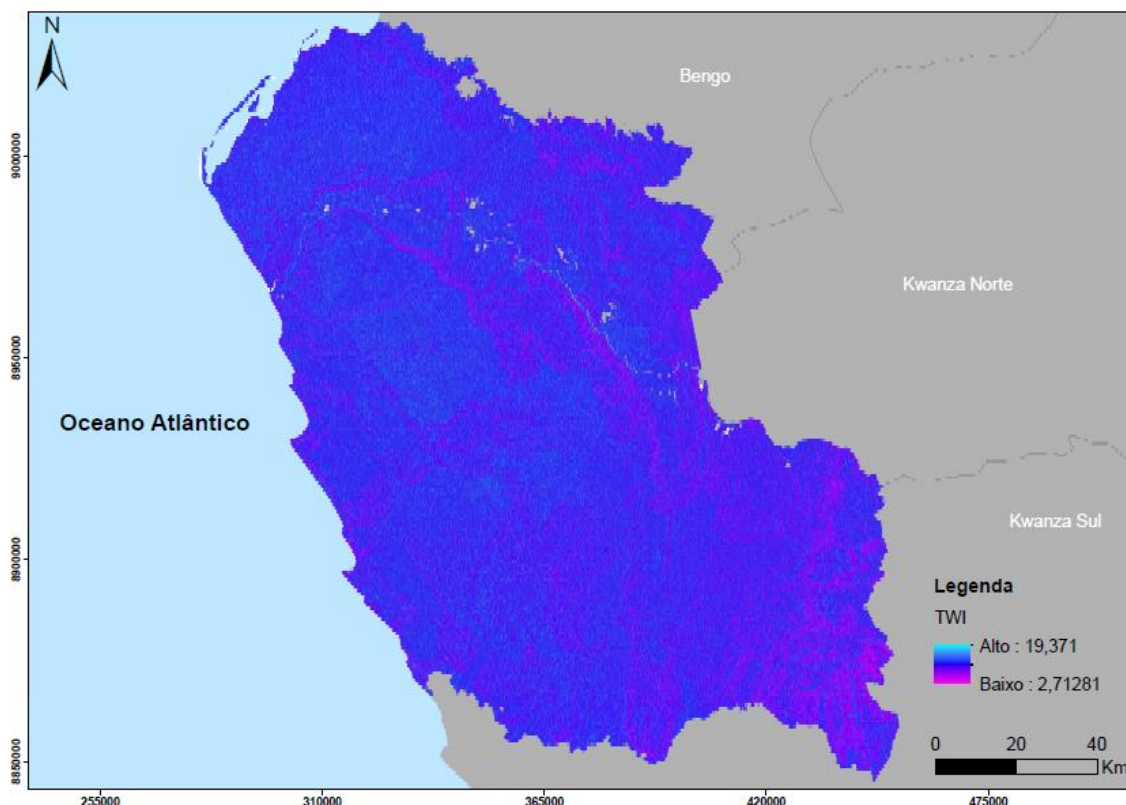


Figura 4.5 – Mapa da variável de índice composto topográfico usado no modelo preditivo.

O resultado do TWI pode contribuir a de forma significativa na proliferação do vetor em uma dada área. O fator do TWI contribui para a risco de proliferação do vetor, na medida que a humidade da terra aumenta à retenção de água favorecendo a criação de locais de reprodução do mosquito.

Pode-se observar na figura 4.5 que o TWI varia numa escala de 19,37 de máxima humidade e 2,71 de humidade mínima. As áreas de maior concentração de humidade não se encontram somente ao longo da rede hidrográfica como também em áreas planas.

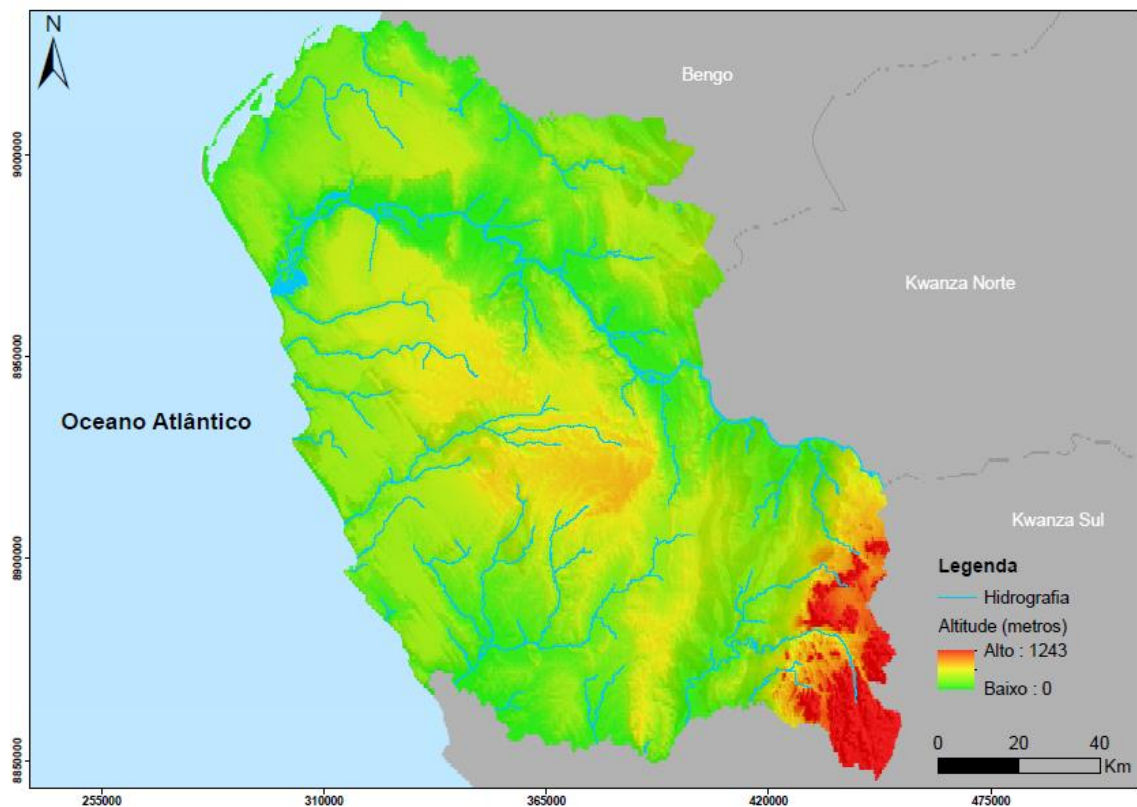


Figura 4.6 – Mapa da variável da altitude e hidrografia usado no modelo preditivo

A altitude é um fator que influencia a proliferação e transmissão da malária, principalmente em zonas com altitude baixas e enquanto que em zonas com maior altitude, menor será a transmissão da malária, pois o aumento da altitude faz baixar a temperatura criando condições desfavoráveis para a sobrevivência do mosquito e do parasita.

A partir do mapa da figura 4.6 verifica-se que os valores da altitude variam de 0 metros de mínima a 1243 metros de máxima, os valores mais elevados concentram-se no sudeste enquanto os mais baixos se encontram ao longo da faixa costeira.

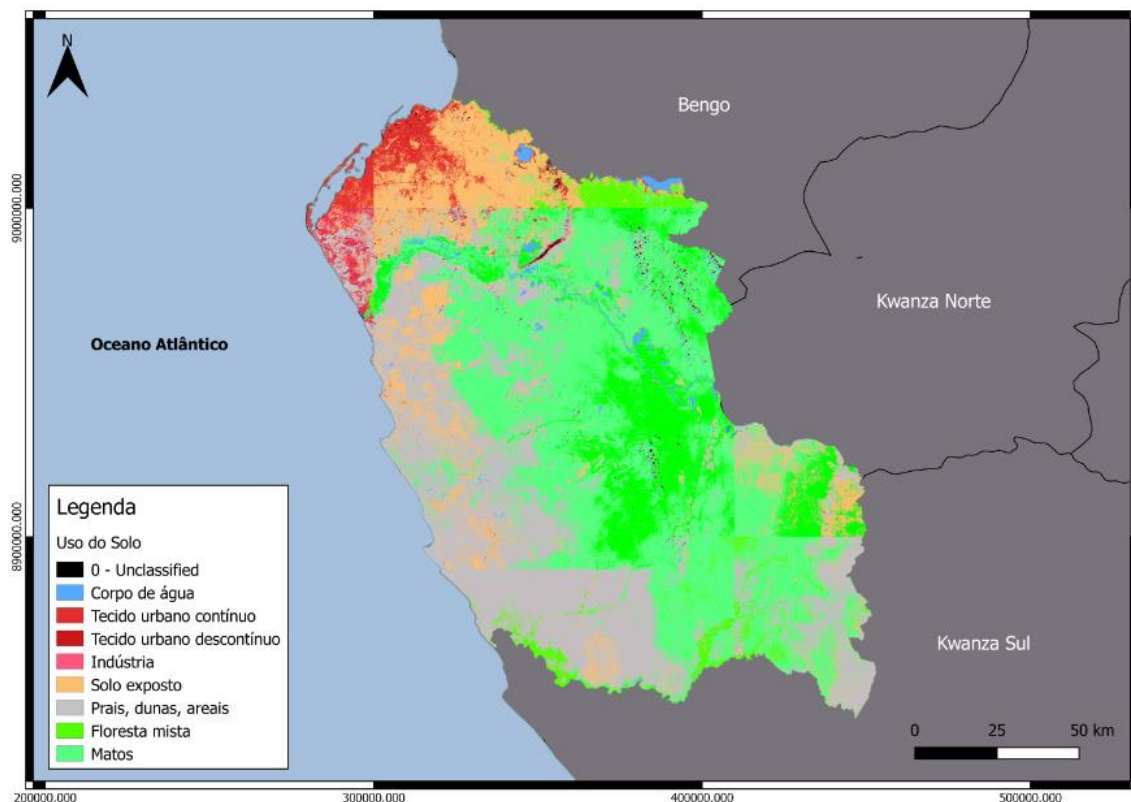


Figura 4.7 – Mapa da variável do uso do solo usado no modelo preditivo.

No presente estudo, optou-se por utilizar a classificação supervisionada, para classificar as áreas de treino obtidos posteriormente a realização da segmentação (Fig. 4.7).

Desta forma, a matriz de erro (ver anexo 3) mostram uma exatidão global de 98%, o que é muito bom e com um valor 0,97 para o Kappa visto que o mesmo varia entre 0 e 1, o que significa uma concordância muito boa.

O mapa de uso solo é preparado na plataforma de processamento de imagem com destaque das classes principais que são: território artificializados, áreas agrícolas, floresta e corpos de água. Neste estudo, verifica-se que agricultura e vegetação são parâmetros muito importantes e desempenham papéis fundamentais como fontes de reprodução de vetores de malária. Áreas que incluem vegetação densa fornecem condições para os vetores da malária isto deve-se à maneira como os seres humanos alteram o uso do solo e como empregam os seus recursos.

Como foi dito anteriormente para criação do referido modelo selecionaram-se as variáveis acima citadas e normalizaram-se as mesmas, devido à natureza diversa dos fatores a utilizar. Assim, foram previamente convertidos numa escala comum (standardizada), de forma a ser possível a realização de operações entre eles para a geração do modelo preditivo (Fig. 4.8).

A tabela 4.1 mostra a comparação de uma matriz de 7x7 das variáveis de risco de malária usadas no estudo.

Tabela 4.1 – Matriz de comparação por pares.

| Matriz | Precipitação | Uso do Solo | Temperatura | Altitude | TWI | NDVI | NDWI |
|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Precipitação | 1,00 | 5,00 | 0,33 | 7,00 | 5,00 | 3,00 | 3,00 |
| Uso do Solo | 0,20 | 1,00 | 0,33 | 7,00 | 0,33 | 0,14 | 0,20 |
| Temperatura | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 5,00 | 3,00 | 5,00 | 5,00 |
| Altitude | 0,14 | 0,14 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 5,00 |
| CTI | 0,20 | 3,00 | 0,33 | 5,00 | 1,00 | 3,00 | 5,00 |
| NDVI | 0,33 | 7,00 | 0,20 | 5,00 | 0,33 | 1,00 | 0,11 |
| NDWI | 0,33 | 5,00 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 9,00 | 1,00 |
| | | | | | | | |
| Total | 5,21 | 24,14 | 2,60 | 30,20 | 10,07 | 21,34 | 19,31 |

| Matriz | Precipitação | Uso do Solo | Temperatura | Altitude | TWI | NDVI | NDWI | Peso final do critério |
|--------------|--------------|-------------|-------------|----------|------|------|------|------------------------|
| Precipitação | 0,19 | 0,21 | 0,13 | 0,23 | 0,50 | 0,14 | 0,16 | 0,22 |
| Uso do Solo | 0,04 | 0,04 | 0,13 | 0,23 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,07 |
| Temperatura | 0,58 | 0,12 | 0,38 | 0,17 | 0,30 | 0,23 | 0,26 | 0,29 |
| Altitude | 0,03 | 0,01 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,26 | 0,06 |
| CTI | 0,04 | 0,12 | 0,13 | 0,17 | 0,10 | 0,14 | 0,26 | 0,14 |
| NDVI | 0,06 | 0,29 | 0,08 | 0,17 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,10 |
| NDWI | 0,06 | 0,21 | 0,08 | 0,01 | 0,02 | 0,42 | 0,05 | 0,12 |
| | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | 1,00 |

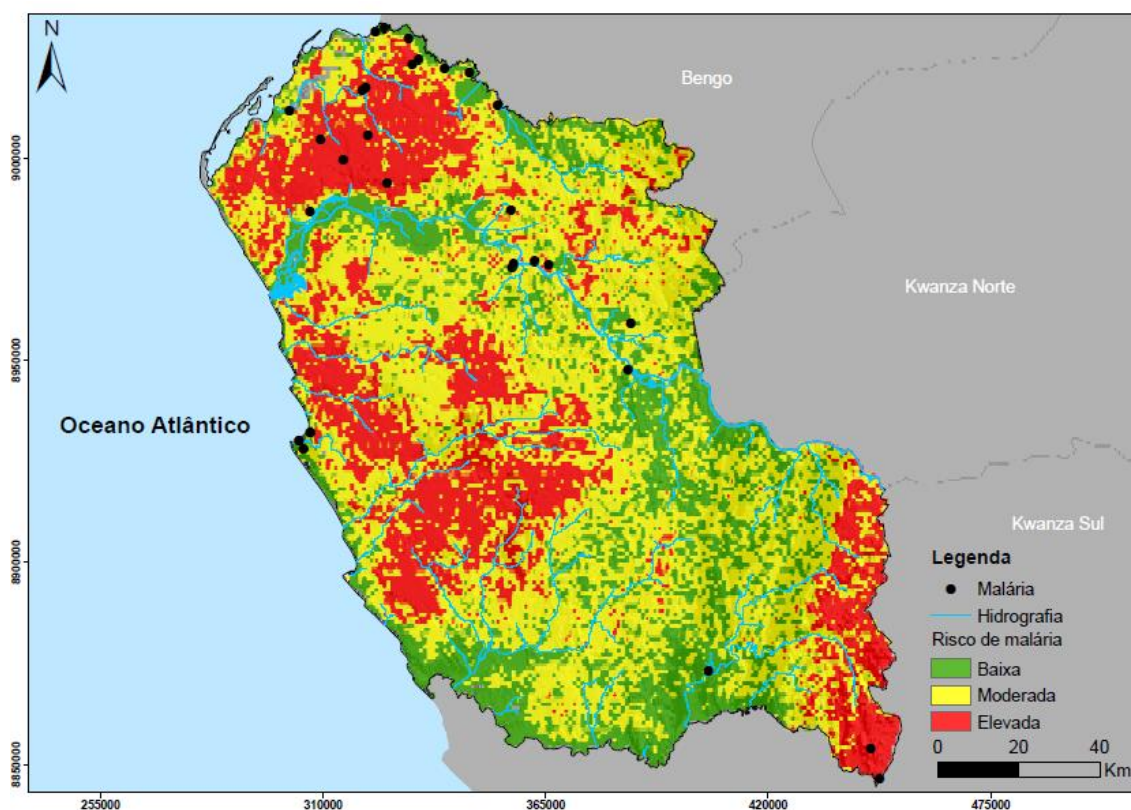


Figura 4.8 – Modelo preditivo de risco de malária.

A figura 4.8 mostra o resultado da aplicação do modelo preditivo de risco de malária da província de Luanda, logo após processo de consolidação de todas as variáveis ambientais utilizadas neste estudo.

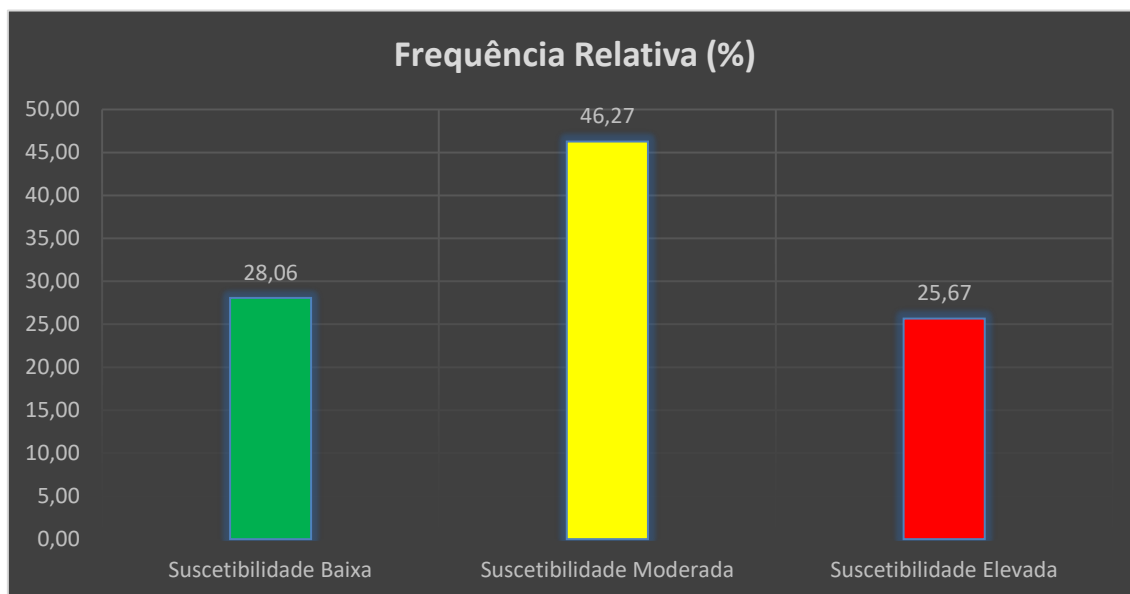
A partir do modelo preditivo foi possível estimar áreas de menor ou maior risco de transmissão da malária. Para tal fez-se uma reclassificação que permitiu fazer uma melhor análise relativamente às áreas com elevado risco de transmissão. Não obstante o modelo preditivo baseou-se unicamente em variáveis ambientais, com maior resolução espacial que levariam então a alcançar melhores resultados.

De acordo com o modelo preditivo de risco de malária estimou-se que 28,06% do modelo encontra-se em área de baixa suscetibilidade, 46,27% uma suscetibilidade média e 25,67% uma área com elevada suscetibilidade (Tab. 4.2).

Comparando os resultados do modelo preditivo com registos de malária (pontos pretos na figura 4.8), pode-se observar que alguns casos de notificação de malária se encontram principalmente junto as linhas de água que é um fator chave para a proliferação do vetor.

Tabela 4.2 – Áreas de risco em percentagem da província de Luanda.

| Modelo preditivo de Risco | | | | |
|---------------------------|---------------|--------------|------------------------|-------------------------|
| Classe | Lado de pixel | Nº de pixeis | Área (m ²) | Frequência Relativa (%) |
| Suscetibilidade Baixa | 1000 | 5141 | 5141000000 | 28,06 |
| Suscetibilidade Moderada | 1000 | 8478 | 8478000000 | 46,27 |
| Suscetibilidade elevada | 1000 | 4703 | 4703000000 | 25,67 |
| Total | | 18322 | 18322000000 | 100,00 |



Este estudo mostrou que atualmente as zonas com maior risco de transmissão de malária se encontram nas zonas periféricas e rurais, e isto deve-se principalmente às condições precárias de saneamento, falta informação sobre a doença e crescimento desordenado da cidade devido ao fluxo migratório a capital.

A partir do modelo estabelecido neste trabalho podemos contrastar com alguns casos confirmados de malária e concluir que os mesmos se localizam principalmente em zonas onde a suscetibilidade de transmissão é elevada (Fig. 4.8).

Este estudo poderá ser útil para ajudar as instituições de saúde na gestão e tomadas de decisões, melhorar a eficiência operacional e permitir uma boa administração das informações estratégicas, tanto para minimizar os custos operacionais como para agilizar o processo de decisão.

4.2. Limitações do estudo

A principal limitação para realização deste trabalho prendeu-se essencialmente, na falta de validação, de realçar que foi apenas avaliado o ano de 2017 para o modelo preditivo.

Existem também limitações no que concerne a falta de informação cartográfica, como o uso do solo e dados de precipitação, por isso recorreu-se somente aos dados de satélite.

Houve limitações por falta de dados relativamente a fatores sociais que poderiam ser incorporados e ter melhorado o modelo preditivo.

Também houve limitações nos dados hospitalares, mais especificamente, nos casos registados de infeção por malária, porque muitas instituições hospitalares não registam os casos de malária por se tratar de uma zona endémica.

Estes modelos preditivos normalmente são utilizados para contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica espacial da transmissão da malária, podendo ou não ser ajustável para determinadas zonas.

Conclusão

O geoprocessamento tornou-se, nos últimos anos, uma ferramenta de grande utilidade para o setor da saúde, pois têm a capacidade de integrar inúmeras operações tais como levantamento, armazenamento, manipulação e seleção de dados e informações. Podem ainda analisar-se dados, auxiliar no processo de ocorrência de eventos, simular uma situação, planificar e definir as estratégias que facilitam as tomadas de decisão na área de saúde. Com a ajuda dos SIG e dados de DR, é possível o cruzamento de diversos dados socioeconómicos, demográficos e ambientais, que possibilitam o cruzamento de informações.

Os SIG são cada vez mais utilizados na área da saúde, uma vez que otimizam a análise das situações e das condições de vida da população e do ambiente, possibilitando o trabalho com informações de diferentes origens e formatos. Assim, os SIG têm sido apontados como instrumentos de integração de dados ambientais e de saúde, permitindo uma melhor caracterização, quantificação da exposição e seus possíveis determinantes.

A aplicação dos SIG na investigação em saúde oferece grandes possibilidades, permitindo aos investigadores a aplicação de novos métodos para o manuseamento da informação espacial, tornando uma poderosa ferramenta para estudar a relação entre a saúde e ambiente.

A escolha dos fatores ambientais para à criação do modelo preditivo foi definida de acordo com a bibliografia consultada, demonstrando que os principais fatores que estão intimamente associados com a incidência da malária são a temperatura, precipitação e humidade, pois estes interferem na reprodução, desenvolvimento, sobrevivência e distribuição do vetor da doença.

Para a realização desse estudo, recorreu-se a dados/técnicas de DR para extrair as principais classes de ocupação do solo a partir de imagem de satélite, que permitiu cruzar com outros fatores ambientais através de dois métodos mencionados na metodologia, nomeadamente o AHP, que se revelou bastante importante na atribuição dos pesos para cada variável selecionada e o CLP, por ser um dos mais utilizados em ambiente SIG, pela sua fácil implementação, por utilizar operações de álgebra de mapas e modelação

cartográfica.

A combinação das diferentes variáveis permitiu então a criação do modelo preditivo de risco de malária, mediante a aplicação de ferramentas apropriadas.

Com o estudo desenvolvido neste trabalho procurou-se avaliar as potenciais áreas de menor ou maior risco de transmissão da malária em Luanda.

De acordo com o modelo preditivo estimou-se que 28,06% corresponde a uma área de baixa suscetibilidade, 46,27% uma suscetibilidade média e 25,67% a uma área com elevada suscetibilidade. A zona norte da província de Luanda onde está localizada a parte urbana e as localidades adjacentes à cidade encontram-se em áreas com suscetibilidade elevada de transmissão de malária. É importante salientar que as áreas de elevado risco se devem a um conjunto de fatores já mencionados atrás tais como: às condições precárias de saneamento, à falta de informação sobre a doença e crescimento desordenado da cidade. O modelo não serve apenas como uma ferramenta para prever a malária, mas também pode ser usado para compreender a dinâmica da transmissão da malária.

Os resultados deste estudo servem também para ajudar as instituições de saúde na gestão e tomadas de decisões, melhorar a eficiência operacional e permitir uma boa administração das informações estratégicas, tanto para minimizar os custos operacionais como para agilizar o processo de decisão.

Este estudo demonstrou a importância do geoprocessamento e do processo de análise hierárquica, e análise multicritério para obtenção de um modelo preditivo de avaliação de risco de malária. Os mesmos métodos podem servir para avaliar o risco de outros vetores. Estes podem contribuir em muito para o acompanhamento, monitorização da doença com maior rigor e celeridade, permitindo uma resposta em mais curto espaço de tempo.

Referências bibliográficas

- Andrade, I. R. A. d. (2008). O uso de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de formas na região de porto rico, planície de inundação do Alto rio Paraná, MS/PR. *O uso de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de formas na região de Porto Rico, Planície de Inundação do alto rio Paraná, MS/PR*.
- Araújo, G. K., Rocha, J. V., Lamparelli, R. A., & Rocha, A. M. (2011). Mapping of summer crops in the State of Paraná, Brazil, through the 10-day spot vegetation NDVI composites. *Engenharia Agrícola*, 31(4), 760-770.
- ASTER, G. Readme File—ASTER GDEM Version 1, 2009.
- Barbosa, J., Teodoro, A., Gomes, F. V., & Pinto, F. T. (2010). Identificação de hidroformas e hidromorfologias em zonas Costeiras arenosas utilizando técnicas de classificação de Imagem.
- Barker, J., Harden, M., Anuta, E., Smid, J., & Hougt, D. (1992). MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization. *Washington: Nasa, Oct*.
- Barsi, J. A., Lee, K., Kvaran, G., Markham, B. L., & Pedelty, J. A. (2014). The spectral response of the Landsat-8 operational land imager. *Remote Sensing*, 6(10), 10232-10251.
- Bartoloni, A., & Zammarchi, L. (2012). Clinical aspects of uncomplicated and severe malaria. *Mediterranean journal of hematology and infectious diseases*, 4(1).
- Beare, N. A., Taylor, T. E., Harding, S. P., Lewallen, S., & Molyneux, M. E. (2006). Malarial retinopathy: a newly established diagnostic sign in severe malaria. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 75(5), 790-797.
- Beck, L. R., Lobitz, B. M., & Wood, B. L. (2000). Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. *Emerging Infectious Diseases*, 6(3), 217.
- Beck, L. R., Rodriguez, M. H., Dister, S. V., Rodriguez, A. D., Washing, R. K., Roberts, D. R., & Spanner, M. A. (1997). Assessment of a remote sensing-based model for predicting malaria transmission risk in villages of Chiapas, Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 56(1), 99-106.
- Bernasconi, M., Choirat, C., & Seri, R. (2010). The analytic hierarchy process and the theory of measurement. *Management Science*, 56(4), 699-711.
- Beven, K., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.

- Biggs, B., & Brown, G. (2001). *Malaria. Dalam: Principles and Practice of Clinical Parasitology*: New York, John Wiley & Son.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*.
- Davis, C., & Câmara, G. (2001). *Arquitetura de sistemas de informação geográfica. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE*.
- Caeiro, R. A. d. S. (2015). *Classificação de dados Landsat 8 do Norte de Portugal com recurso a Geographic Object-Based Image Analysys (GEOBIA)*.
- Câmara, G., & Ortiz, M. J. (1998). *Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral*. Paper presented at the CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA.
- Ceccato, P., Connor, S., Jeanne, I., & Thomson, M. (2005). Application of geographical information systems and remote sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk. *Parassitologia*, 47(1), 81-96.
- Collins, F. H., Kamau, L., Ranson, H. A., & Vulule, J. M. (2000). Molecular entomology and prospects for malaria control. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(12), 1412-1423.
- Correia, V. R. d. M., Carvalho, M. S., Sabroza, P. C., & Vasconcelos, C. H. (2004). Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. *Cadernos de Saude Publica*, 20(4), 891-904.
- Cosme, A. (2012). *Projeto em Sistemas de Informação Geográfica*. LIDEL - Edições Técnicas. Lisboa.
- Cruz, C. B. M., de Barros, R. S., Cardoso, P. V., Reis, R. B., do Rosário, L. S., dos Santos Barbosa, S., . . . CCMN, S. I. (2011). Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, PR, Brasil*, 30, 5463.
- Cunha, S. M. M. (2009). *O SIG ao serviço do ordenamento do território: modelo de implementação*.
- de Abreu, K. K. R. C., & Leite, M. E. (2009). Sistema de informação geográfica aplicado à distribuição do caso de dengue na microrregião de Pirapora–MG. *Hygeia*, 5(9).
- Eastman, J. R. (2001). *Decision Support: Decision Strategy Analysis*.....
- 1.

- Fairhurst, R. M., & Wellems, T. E. (2010). Plasmodium species (malaria). *Mandell, Douglas and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases*, 3437-3462.
- Ferri, F. F. (2009). *Ferri's color atlas and text of clinical medicine*: Elsevier Health Sciences.
- Fletcher, K. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services (European Spatial Agency SP-1322/2) ISBN 978-92-9221-419-7: ISSN.
- Gomes, A. P., Vitorino, R. R., Costa, A. d. P., Mendonça, E. G. d., Oliveira, M. G. d. A., & Siqueira-Batista, R. (2011). Severe Plasmodium falciparum malaria. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 23(3), 358-369.
- Gomes, E. J. d. C. (2010). *Risco potencial de transmissão de malária em Portugal Continental*. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- Hemingway, J. (2005). Control of insects and acarines. In Marquardt *et al.*, 2nd Edition *Biology of disease vectors*. London: Elsevier Academic Press. pp. 625-637.
- INE, (2014). *Recenseamento Geral da População e Habitação*. Luanda.
- Jensen, J. (2006). Remote sensing of the environment an earth resource perspective: low price edition Pearson Education. *New Delhi, India*.
- Julião, R. P. (1999). Geografia, informação e sociedade. *GeoInova-Revista do Departamento de Geografia e Planejamento Regional* n° 0, 95-108.
- Kerski, J. J. (2011). Encyclopedia of Geographic Information Science: Edited by Karen Kem, Thousand Oaks, California: Sage Publications Inc., 2008. 558 pages. ISBN: 978-1-4129-1313-3: Taylor & Francis.
- Knell, A. (1991). *Malaria: a publication of the tropical programme of the Wellcome Trust*: Oxford University Press.
- Latorre, M., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E., & de Carvalho Júnior, O. A. (2003). Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. *Revista Espaço e Geografia*, 6(1).
- Lopes, P., Alves, J., & Lourenço, P. Utilização de Detecção Remota para a Determinação de Zonas de Risco de Contaminação por Malária e a Influência das Alterações Climáticas Globais na sua Expansão—Região do Algarve como Caso de Estudo.
- MACHADO, J. R. (1993). A emergência dos sistemas de informação geográfica na análise e organização do espaço. *Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian*.

- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*: John Wiley & Sons.
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
- MATOS, J. (2008). Fundamentos de Informação Geográfica. 5ª Edição Actualizada e Aumentada. *LIDEL-edições técnicas, Lda. Portugal: Lisboa*.
- Matos, J. L. (2001). Fundamentos de Informação Geográfica, Modelação Geográfica, Análise Espacial, Cartografia Digital, Qualidade. *Lidel, Lisboa*.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Meneses, B., & Rocha, M. (2009). Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Saúde. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- Ministério da Saúde. (2011). Inquérito de indicadores de malária. Luanda, Angola.
- Morena, S., Fortes, F., Guimarães, K., Jorge, C., Ferreira, C. Lutumba, A., Sebastião, N. & Saraiva, N. (2002). The Malaria Larvae Control Experience – The use of the biolarvicides. *Ministério da Saúde de Angola*, pp. 27.
- Nadjm, B., & Behrens, R. H. (2012). Malaria:: An update for physicians. *Infectious disease clinics of North America*, 26(2), 243-259.
- NAJAR, A. L. et al. (1992). A Saúde em Estado de Choque. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo.
- Nandaia, M. (2015). *Os Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota na Determinação das Regiões de Risco por Malária na Guiné-Bissau*.
- Organization, W. H. (2015). *Guidelines for the treatment of malaria*: World Health Organization.
- Organization, W. H. (2016). *World malaria report 2015*: World Health Organization.
- Pates, H., & Curtis, C. (2005). Mosquito behavior and vector control. *Annu. Rev. Entomol.*, 50, 53-70.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 4(2), 439-473.

- Pina, M., & Santos, S. M. (1998). Potencialidades dos sistemas de informações geográficas na área da saúde. *NAJAR AL & MARQUES EC. Saúde e Espaço: Estudos metodológicos e técnicas de análise. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ.*
- Ramirez, J. L., Garver, L. S., & Dimopoulos, G. (2009). Challenges and approaches for mosquito targeted malaria control. *Current molecular medicine*, 9(2), 116-130.
- Resendes, A. P. d. C., Barcellos, C., Skaba, D. A., Oliveira, E. X. G. d., Werneck, G. L., Silveira Júnior, J. C., . . . Peiter, P. C. (2007). Sistemas de Informações Geográficas e análise espacial na Saúde Pública.
- Richards, O.W. & Davies, R.G. (1997). *Imm's General Textbook of Entomology – Classification and Biology*. 10th Edition, Vol. 2. New York: Chapman & Hall.
- Rodríguez, E., Morris, C., Belz, J., Chapin, E., Martin, J., Daffer, W., & Hensley, S. (2005). *An assessment of the SRTM topographic products*. Retrieved from
- Roy, D. P., Borak, J. S., Devadiga, S., Wolfe, R. E., Zheng, M., & Descloitres, J. (2002). The MODIS land product quality assessment approach. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 62-76.
- Rudorff, B. F. R. (2007). *Sensor Modis e Suas Aplicações Ambientas no Brasil*: Editora Parêntese.
- Running, S. W., Justice, C., Salomonson, V., Hall, D., Barker, J., Kaufmann, Y., . . . Vanderbilt, V. (1994). Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 15(17), 3587-3620.
- Ruppert, E.E. & Barnes, R.D. (1996). *Zoologia dos Invertebrados*, 6ed. Editora Roca Ltda SP, Brasil. pp. 1029.
- Sampaio, D. A. (2012). Análise espaço-temporal da asma em Portugal Continental com base em dados de detecção remota.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. (1988). *Economia*. Trad. de Manuel FC Mora Godinho: Lisboa: McGraw-Hill.
- Santos, S., & Barcellos, C. (2006). Abordagens espaciais na saúde pública. *Brasília: Ministério da Saúde.*
- Scholten, H. J., & de Lepper, M. J. (1991). The benefits of the application of geographical information systems in public and environmental health. *World Health Stat Q*, 44(3), 160-170.
- Sentinel-2 Products Specification (2015). Document Ref: S2-PDGS-TAS-DI-PSD, Issue: 13.1


- Service, M.W. (1980). *A Guide to Medical Entomology*. 1st Edition. London: The Macmillan. pp. 248.
- Service, M.W. (1986). *Lecture Notes on Medical Entomology*. London: Blackwell Science Ltd. pp. 272.
- Service, M.W. & Townson, H. (2002). The *Anopheles* vector. In Warrel, D.A. & Gilles, H.M., 4th Edition (2002). *Essential Malariology*. London: Hodder Arnold. pp. 348.
- Service, M.W. (2008). *Medical entomology for students*, 4th Ed. Cambridge University Press, pp. 306.
- Silva, M. M. B. L., Souza, A. M. B., Almeida, J. A. P., Jesus, M. A. R., & Rollemberg, C. V. V. (2010). Análise Espacial Da Ocorrência Da Esquistossomose No Município Da Ilha Das Flores-Se, Utilizando Técnicas De Geoprocessamento, Brasil, 10p.
- Suárez-Mutis, M. C., Coura, J. R., Massara, C. L., & Schall, V. T. (2011). Efeito de ação educativa participativa no conhecimento de professores do ensino básico sobre malária. *Rev Saúde Pública*, 45(5), 931-937.
- Troco, A. (2012). *Resistência a insecticidas em Anopheles gambiae sl na Região de Luanda, Angola*. IHMT.
- United States Geological Survey (USGS). Landsat Project Description. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>> Acesso em: 19 jul 2013
- Vettorazzi, C. A. (2006). *Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos*. Universidade de São Paulo.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning* (Vol. 207): Pion London.
- Xiong, X., Chiang, K., Sun, J., Barnes, W., Guenther, B., & Salomonson, V. (2009). NASA EOS Terra and Aqua MODIS on-orbit performance. *Advances in Space Research*, 43(3), 413-422.
- Vumbi, C. (2016). *Prevenção e controlo da Malária: conhecimentos, atitudes e comportamentos da população adulta de Luanda, Angola*.
- Wan, Z., & Dozier, J. (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 34(4), 892-905.


- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z.-l. (2002). Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 163-180.
- Warren, R. (1990). Predictive modeling of archeological site location: a case study in the midwest. *Interpreting space: GIS and archaeology*. London, Taylor and Francis, 210-215.
- Williams, J., & PINTO, J. (2012). Manual de Entomologia da Malária. Para Técnicos de Entomologia e Controlo de Vetores (Nível Básico). [Em Linha] USAID - Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional.
- World malaria report. (2016). Geneva: World Health Organization, ISBN. 978-92-4-151171-1.

Anexos

Anexo 1

Orientação terapêutica - adultos

| | | |
|---|--|--|
|  | Clínica Sagrada Esperança - Luanda Documento Normativo ORIENTAÇÃO TERAPÊUTICA - ADULTOS | Código 0269_DN_CAD Pág. 1 / 1 |
|---|--|--|


CLÍNICA SAGRADA ESPERANÇA, LDA
GRUPO ENIDIANA
Comissão de Controlo da Infecção Hospitalar

ORIENTAÇÃO TERAPÊUTICA Adultos

Malária

Diagnóstico

Clinico: Febre, calafrios, cefaleias, mialgias, hepatoesplenomegalia, náuseas, vômitos, dor abdominal, diarreia

Laboratorial: Pesquisa de *Plasmodium* (PP) e/ou teste rápido (TR) positivos

Exames complementares

- Hemograma completo, PP e/ou TR
- Glicemia capilar
- Ureia/creatinina/AST/ALT/Bil Total, se Malária grave
- Gasimetria, se hipotensão /choque/stress respiratório/oligoanúria/icterícia/hemoglobinúria marcada
- Rx tórax, se Malária grave

Críticos de Gravidade

Clínicos

- Coma/alteração do estado consciência
- Prostração (incapacidade para estar de pé, sentar ou andar sozinho)
- Convulsões múltiplas (mais de 2 episódios/24h)
- Dificuldade respiratória, respiração acidótica
- Choque circulatório, TA sist < 80mmHg
- Icterícia clínica e evidência de outra disfunção de órgão
- Lesão renal aguda
- Hemorragia espontânea patológica
- Edema agudo do pulmão (EAP) e Síndrome de Dificuldade Respiratória Adulto (ARDS)

Laboratoriais

- Hipoglicémia (Glicémia < 40 mg/dl)
- Acidose metabólica (HCO₃⁻ < 15 mmol/l)
- Anemia normocítica grave (Hb < 7 g/dl, Htc < 20%)
- Hemoglobinúria
- Parasitemia elevada (> 200 parasitas/ campo)
- Hiperlactacidémia (> 5 mmol/l)
- Disfunção renal (creatinina > 3 mg/dl)
- Coagulação intravascular disseminada (CID)

Sem critérios de gravidade

Malária não complicada

Plasmodium falciparum

1ª linha: Terapêutica de combinação com derivados artemisina (TCA), via oral

Arteméter/Lumefantrina 20/120mg, 4cp 12/12h, 3 dias ou Artesunato/Amodiaquina 100/270mg, 2cp/dia, 3 dias ou Diodroartemisinina/Piperequina 40/320mg, 3cp/dia, 3 dias ou Artesunato, 50mg, 4cp/dia, 3 dias mais Mefloquina, 250mg 2cp/dia, 3 dias ou Artesunato, 50mg, 4cp/dia, 3 dias mais Sulfadoxina/pirimetamina 500/25mg, 3cp no 1º dia

2ª linha: se insucesso com 1ª linha, Quinina (10mg/Kg 8/8h) ou Artesunato (2mg/Kg/dia) mais Tetraciclina (4mg/Kg 4x/dia) ou Doxiciclina (3.5mg/Kg/dia) ou Clindamicina (10mg/Kg 2x/dia), 7 dias, **via oral**

Plasmodium vivax

TCA excepto combinações com sulfadoxina/pirimetamina **seguido** de Primaquina 0.25-0.5mg/Kg/dia, 14 dias, **via oral** ou Cloroquina (10mg/Kg 1º e 2º dias, 5mg/Kg no 3º dia) **seguido** de Primaquina 0.25-0.5mg/Kg/dia, 14 dias, **via oral**.

1 ou mais critérios de gravidade

Malária grave ou complicada

Plasmodium falciparum/vivax

1ª linha, via parentérica

Artesunato EV 2.4 mg/kg (0h e 12h), segue a 1x/dia ou Quinina EV 20mg/Kg na admissão, segue a 10 mg/kg 8/8h ou Arteméter IM 3.2 mg/kg na admissão, segue a 1.6mg/kg/dia

Esta terapêutica parentérica deve durar pelo menos 24 horas, continuando com esquema completo por via oral logo que possível com:

TCA ou: Quinina (10mg/Kg 8/8h) mais Doxiciclina (3.5mg/Kg/dia) ou Clindamicina (10mg/Kg 2x/dia, 7 dias) ou Artesunato (2mg/Kg/dia) mais Doxiciclina (3.5mg/Kg/dia) ou Clindamicina (10mg/Kg 2x/dia, 7 dias)

Se *Plasmodium vivax*, **seguido** de Primaquina 0.25-0.5mg/Kg/dia, 14 dias, **via oral**.

Obs: Grávidas 1º trimestre - Quinina mais Clindamicina; Grávidas 2º trimestre - TCA. Mulheres e amamentar: TCA ou Quinina mais Clindamicina ou Artesunato mais Clindamicina; não dar dapsona, primaquina e tetraciclina


Adaptado de: 1) Guidelines for the Treatment of Malaria, Second Edition, March 2010, WHO; 2) Management of Severe Malaria: a practical handbook - 3rd ed, April 2013, WHO

| Controlo | Edição | Revisão | Tipo | Responsável | Data |
|--------------------|--------|---------|----------------------|-------------|----------------|
| Versões / Revisões | 1 | 0 | Elaborado / Proposto | CCIH | |
| | | | Parecer / Aprovado | CG | Dezembro. 2014 |
| | | | Homologado | PCG | Janeiro. 2015 |

Próxima Revisão: 3 anos após homologação

Ficha de notificação obrigatória semanal do sistema de vigilância epidemiológica

Visto do Chefe da Unidade Sanitária
ou Chefe do Serviço _____

 CLÍNICA SAGRADA
ESPERANÇA, LDA
LUBILOLO EN-JOJANA

CLÍNICA SAGRADA ESPERANÇA
Gabinete de Vigilância Epidemiológica

FICHA DE NOTIFICAÇÃO OBRIGATÓRIA SEMANAL DO SISTEMA DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA

NOME DA UNIDADE SANITÁRIA: _____

PROVINCIA: _____ MUNICÍPIO: _____ DATA DE ENVIO: _____

SEMANA EPIDEMIOLÓGICA Nº: _____ DE: _____ À _____

A. NOTIFICAÇÃO DE DOENÇAS POTENCIALMENTE EPIDÉMICAS

| DOENÇAS DE NOTIFICAÇÃO IMEDIATA | DEFINIÇÃO DE CASO SUSPEITO | CASOS | OBITOS |
|--|--|-------|--------|
| Paralisia Flácida Aguda (PFA) | a) Qualquer caso de paralisia flácida (mole) e aguda (evolução rápida) em criança menor de 15 anos de idade cuja condição não resulta de um traumatismo, ou b) Qualquer caso independentemente da idade em que é diagnosticado como Pólio por um médico. | | |
| Sarampo | Qualquer caso de febre e exantema + um ou mais dos seguintes sinais: (a) tosse, (b) coriza ou (c) conjuntivite | | |
| Tétano Neonatal | Toda morte não esclarecida de um recém nascido de 3ª a 28ª dias de idade. | | |
| Meningite | a) Para menor de 1 ano: Qualquer criança que apresenta ao menos 3 dos seguintes sintomas: febre a 39°C, diarreia, vômitos, hipotonia muscular, abaulamento da fontanela, irritabilidade, ou b) Para maior de 1 ano: Qualquer criança ou pessoa que apresenta cefaleias intensas e rigidez da nuca | | |
| Cólera | a) Pessoa com mais de 5 anos de idade com desidratação grave por diarreia aquosa aguda. b) Pessoa com mais de 2 anos de idade com diarreia aquosa numa área onde ocorre uma epidemia de cólera | | |
| Febre Amarela | Qualquer pessoa com início súbito de febre alta, cefaleias, calafrios, lombalgia, mialgias generalizadas, postração, náuseas, e vômitos seguida de icterícia e manifestações hemorrágicas, epistaxis, otorragia, etc. | | |
| Malária | a) Qualquer pessoa com febre associada com os seguintes sintomas: náuseas, vômitos e ou diarreia, dores de cabeça, dor muscular e ou lombar e calafrio. início súbito de febre alta, cefaleias, calafrios, lombalgia, mialgias generalizadas, postração, náuseas, e vômitos seguida de icterícia e manifestações hemorrágicas, epistaxis, otorragia, etc. b) Pessoa com gota espessa positiva com densidade parasitária inferior a 50,000 parasitas/mm3 após ter sido excluída outra doença infecciosa patológica | | |
| Outra doença, evento ou surto ocorrido: | Detalhar informação: | | |

B. NOTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO DE MEDICAMENTOS E REAGENTES

Durante a presente semana epidemiológica informa-se que a Unidade Sanitária apresentou:



☐ Falta de Vacinas _____

☐ Falta de reagentes _____

☐ Principais Farmacos em Falta _____

Nome do técnico: _____ Categoria: _____

Ficha de notificação de malária














| | | |
|---|--|--|
|  Ministério da Saúde Direcção Nacional de Saúde Pública |  CLÍNICA SAGRADA ESPERANÇA, LDA <small>GRUPO ENDIAMA</small> | GABINETE DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA |
| FICHA DE NOTIFICAÇÃO DE MALÁRIA | | |
| DEFINIÇÃO DE CASO: Toda pessoa residente ou que tenha deslocado para área onde haja transmissão de malária, no período de 7 a 30 dias anterior à data dos primeiros sintomas, e que apresente febre acompanhada ou não dos seguintes sintomas: cefaleia, calafrios, cansaço, mialgia, náuseas, vômitos, diarreia, dor abdominal com ou sem confirmação laboratorial. | | |
| Código Epid: _____ | | Data de recepção no GVE: ____/____/____ |
| Ilha _____ Ext. Parc. _____ Transferido _____ Ano _____ N° de Caso _____ | | |
| IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO: | | |
| Nome do Doente: <u>ESPEDITO PEREIRA DA SILVA NETO</u> Empresa: <u>PRATICULAD</u> | | Data de Notificação: <u>16/10/2017</u> |
| Data de Nascimento: <u>05/08/1964</u> Idade: <u>53</u> anos _____ meses | | Sexo: M = Masculino <input checked="" type="checkbox"/> F = Feminino <input type="checkbox"/> |
| Província: <u>BRASIL</u> Município: _____ Comuna: _____ | | |
| Bairro / Aldeia: _____ Tipo de Área: Rural <input type="checkbox"/> Suburbana <input type="checkbox"/> Urbana <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Endereço (Referência da morada): <u>VIA DA ANSOL</u> | | Telefone: <u>939295055</u> |
| HOSPITALIZAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> 1 = Internado 2 = Ambulatório <input type="checkbox"/> | | |
| Nº Processo Hospitalar: <u>1412114</u> | | Data de Atendimento: <u>15/10/2017</u> |
| Nº Inscrição: <u>4591087</u> | | Departamento Notificador: <u>UCI</u> |
| Médico Assistente: <u>VANDA CARAPICHOSO</u> | | |
| MANIFESTAÇÕES CLÍNICAS: (1 = Sim 2 = Não) | | |
| Diarreia <input checked="" type="checkbox"/> | | Data do início dos Sintomas: <u>06/10/2017</u> |
| Vômitos <input type="checkbox"/> | | Cefaleias <input checked="" type="checkbox"/> |
| Mialgias <input checked="" type="checkbox"/> | | Febre <input checked="" type="checkbox"/> |
| Outros sintomas: _____ | | Dor abdominal <input type="checkbox"/> |
| Outras Doenças: _____ | | |
| TERAPÊUTICA: TIPO DE ESQUEMA <u>5</u> | | |
| Data do início do tratamento: <u>15/10/2017</u> | | |
| 1. Arteméter/Lumefantrina 20/120 mg 2. Artesunato/Amodiaquina 100/270 mg 3. Diidroartemisina/Piperaquina 40/320 mg 4. Artesunato/Mefloquina 50/250 mg 5. Artesunato 50 mg 6. Sulfadoxina/Primetamina 500/25 mg 7. Quinino 10 mg/kg ou Artesunato 2 mg/kg + Tetraciclina 4 mg/kg ou Doxiciclina 3.5mg/kg ou Clindamicina 10 mg/kg 8. Primaquina 0.25-0.5 mg/kg ou Cloroquina 10 mg/kg 9. Artesunato 2.4mg/kg ou Quinino 20 mg/kg | | |
| LABORATÓRIO: | | |
| Resultado: <u>70 PARASITOS/CMPO</u> | | |
| Outros Exames: <u>CE + TESTE RAPIDO</u> | | |
| EVOLUÇÃO E SEGUIMENTO DO DOENTE: | | |
| Evolução do doente: (Alta/Óbito) _____ | | Data da Alta ou Óbito: ____/____/____ Classificação Final: _____ |
| Fonte: Adaptada DNSP/ CPDE/2015 | | |

Anexo 2

Nomenclatura das classes do uso do solo



Nomenclatura CORINE Land Cover

| | |
|---|---|
|  | 111 - Tecido urbano contínuo |
|  | 112 - Tecido urbano descontínuo |
|  | 121 - Indústria, comércio e equipamentos gerais |
|  | 122 - Redes viárias e ferroviárias e espaços associados |
|  | 123 - Áreas portuárias |
|  | 124 - Aeroportos e aeródromos |
|  | 131 - Áreas de extracção de inertes |
|  | 132 - Áreas de deposição de resíduos |
|  | 133 - Áreas em construção |
|  | 141 - Espaços verdes urbanos |
|  | 142 - Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas |
|  | 211 - Culturas temporárias de sequeiro |
|  | 212 - Culturas temporárias de regadio |
|  | 213 - Arrozais |
|  | 221 - Vinhas |
|  | 222 - Pomares |
|  | 223 - Olivais |
|  | 231 - Pastagens permanentes |
|  | 241 - Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes |
|  | 242 - Sistemas culturais e parcelares complexos |
|  | 243 - Agricultura com espaços naturais e semi-naturais |
|  | 244 - Sistemas agro-florestais |
|  | 311 - Florestas de folhosas |
|  | 312 - Florestas de resinosas |
|  | 313 - Florestas mistas |
|  | 321 - Vegetação herbácea natural |
|  | 322 - Matos |
|  | 323 - Vegetação esclerófila |
|  | 324 - Florestas abertas, cortes e novas plantações |
|  | 331 - Praias, dunas e areais |
|  | 332 - Rocha nua |
|  | 333 - Vegetação esparsa |
|  | 334 - Áreas ardidas |
|  | 335 - Neves eternas e glaciares |
|  | 411 - Paúis |
|  | 412 - Turfeiras |
|  | 421 - Sapais |
|  | 422 - Salinas e aquicultura litoral |
|  | 423 - Zonas entre-marés |
|  | 511 - Cursos de água |
|  | 512 - Planos de água |
|  | 521 - Lagoas costeiras |
|  | 522 - Desembocaduras fluviais |
|  | 523 - Oceano |

Anexo 3

Matriz de erro

| > ERROR MATRIX | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|------|-------|-----|-------|--------|--------|------|-----|-----|
| > Reference | | | | | | | | | | |
| V_Classification | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 |
| 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.0 | 0 | 1781 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 | 0 | 0 | 22287 | 0 | 30 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 |
| 3.0 | 0 | 0 | 1246 | 37 | 365 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.0 | 0 | 0 | 4442 | 0 | 85655 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 469080 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5780 | 219854 | 0 | 0 | 0 |
| 7.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4757 | 0 | 0 |
| 8.0 | 0 | 0 | 250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 312 | 67 | 0 |
| 9.0 | 0 | 0 | 1533 | 0 | 26 | 0 | 0 | 22 | 2 | 29 |
| Total | 0 | 1781 | 29758 | 37 | 86077 | 474860 | 219855 | 5108 | 69 | 29 |

```

Overall accuracy [%] = 98.2843143251
Class 0.0 producer accuracy [%] = nan      user accuracy [%] = nan      Kappa hat = nan
Class 1.0 producer accuracy [%] = 100.0     user accuracy [%] = 100.0     Kappa hat = 1.0
Class 2.0 producer accuracy [%] = 74.894146112 user accuracy [%] = 2.24514563107 Kappa hat = 0.0224072145258
Class 3.0 producer accuracy [%] = 100.0     user accuracy [%] = 99.7940267765 Kappa hat = 0.997862465954
Class 4.0 producer accuracy [%] = 99.5097412782 user accuracy [%] = 95.0676478096 Kappa hat = 0.944872461409
Class 5.0 producer accuracy [%] = 98.7827991408 user accuracy [%] = 100.0       Kappa hat = 1.0
Class 6.0 producer accuracy [%] = 99.9995451548 user accuracy [%] = 97.4378974893 Kappa hat = 0.96495496382
Class 7.0 producer accuracy [%] = 93.1284259984 user accuracy [%] = 100.0       Kappa hat = 1.0
Class 8.0 producer accuracy [%] = 97.1014492754 user accuracy [%] = 10.6518282989 Kappa hat = 0.106442870314
Class 9.0 producer accuracy [%] = 100.0     user accuracy [%] = 1.79900744417 Kappa hat = 0.017955240533
Kappa hat classification = 0.970414440849

```